МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

А. С. КУЗНЕЦОВ

ЦИФРОВАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ



Ич

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 797

А. С. КУЗНЕЦОВ

ЦИФРОВАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1972

УДК 681.325.023

А. С. Кузнецов

К89 Цифровая техника для радиолюбителей, М., «Энергия», 1972.

96 стр. с ил. (Массовая радиобиблиотека, Вып. 797.

В книге рассказано о элементах и схемах цифровой вычислительной техники, описаны некоторые функциональные узлы, рекомендуемые к применению в радиолюбительских разработках.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

$\frac{3\text{-}4\text{-}5}{302\text{-}71}$ 6Ф7.3

КУЗНЕЦОВ АЛЬФРЕД СТЕПАНОВИЧ

Цифровая техника для радиолюбителей

Редактор *В. С. Харламов*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

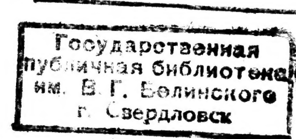
Технический редактор *В. В. Зеркаленкова*

Корректор *Е. В. Житомирская*

Сдано в набор 28/VII 1971 г. Подписано к печати 4/I 1972 г. Т-01502. Формат $84\times108^1/_{32}$. Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 5,04. Уч.-изд. л. 5,99. Тираж 40 000 экз. Цена 25 коп. Зак. 1041

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб. 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Основу современных цифровых вычислительных машин, а также многочисленных электронных устройств, предназначенных для автоматического измерения и контроля физических и электрических величин, составляют элементы цифровой техники: функциональные преобразователи, электронные счетчики, регистры и многие другие.

Цель настоящей книги — ознакомить радиолюбителей с принципами построения и конструкцией основных элементов цифровых устройств.

Значительное внимание в книге уделено описанию электронных схем, на основе которых строятся счетные, запоминающие и управляющие цепи.

Сравнительно небольшой объем книги не позволил подробно остановиться на схемах, с помощью которых решаются сугубо специальные вопросы, но, тем не менее, изложенный материал может оказаться полезным при построении сложных автоматических устройств, так как любое подобное устройство имеет определенный перечень однотипных элементов и узлов, составляющих его основу.

В начале книги кратко излагаются основы импульсной техники, дается понятие о двоичной системе счисления. Последующие главы содержат сведения об основных функциональных узлах и элементах, нашедших широкое применение в различных устройствах цифровой техники.

Заключительная глава посвящена вопросам конструирования рассматриваемых устройств. В книге описано несколько практических схем, представляющих интерес для широкого круга радиолюбителей.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

1. Характеристики импульсного процесса

Основное назначение устройств цифровой техники заключается в приеме и обработке исходной информации и передаче ее в преобразованном виде на индикаторное устройство или исполнительный механизм.

Термин *«цифровой»* означает, что в рассматриваемых устройствах исходная информация кодируется с помощью цифр, изображаемых определенными состояниями электрических цепей или схем.

Перечисленные выше функции устройств цифровой техники могут реализоваться комбинациями таких электронных схем, как: триггеры, мультивибраторы, усилители, схемы совпадений, повторители, шифраторы и дешифраторы и т. п.

Эти схемы, являющиеся основными элементами цифровой техники, как правило, включаются таким образом, что выходные сигналы одних элементов являются входными для других. Для характеристик различных элементов и схем удобно пользоваться свойствами выходного сигнала — его электрическими и временными параметрами. Выходные сигналы могут быть импульсными и потенциальными. Потенциальный сигнал характеризуется в основном уровнем напряжения и временем его действия, импульсный же сигнал имеет более сложную структуру и характеристики, поэтому на его свойствах остановимся более подробно.

Различают два вида импульсов: видеоимпульсы и радиоимпульсы.

Видеоимпульсы представляют собой кратковременное возрастание тока или напряжения от нуля до максимума, а затем — спадание от максимума до нуля.

Радиоимпульсы — это кратковременные пакеты (пачки) высокочастотных колебаний. Радиоимпульсы состоят из нескольких периодов высокочастотных колебаний тока или напряжения и получаются путем модуляции по амплитуде видеоимпульсами синусоидальных колебаний генераторов несущей частоты. Радиоимпульсы используются в тех случаях, когда передача импульсных сигналов осуществляется по радио.

В цифровой технике в основном используются видеоимульсы, которые в дальнейшем для сокращения будем называть просто импульсами.

Основными характеристиками импульсного сигнала являются:

форма, которая определяется как зависимость от времени мгновенных значений напряжения или тока. Различают импульсы прямоугольной, пилообразной, трапецеидальной, треугольной, колоколообразной и экспоненциальной форм;

амплитуда A, или наибольшая величина сигнала;

длительность фронта $t_ф$, т. е. время нарастания амплитуды до максимального значения;

длительность спада $t_с$;

длительность импульса $t_и$.

Определение длительностей импульса, фронта и спада связано с некоторыми трудностями, так как скорость изменения напряжения и тока в течение фронта и спада импульса обычно не остается постоянной. Обычно измерения длительности импульса или отдельных его участков производят на определенном уровне от основания. Чаще всего длительность фронта или спада измеряется между уровнями от 0,1 до 0,9 максимального значения импульса, а длительность импульса — на уровне 0,1 или 0,5, считая от основания. В последнем случае (на уровне 0,5) длительность импульса называется активной (рис. 1, *а*).

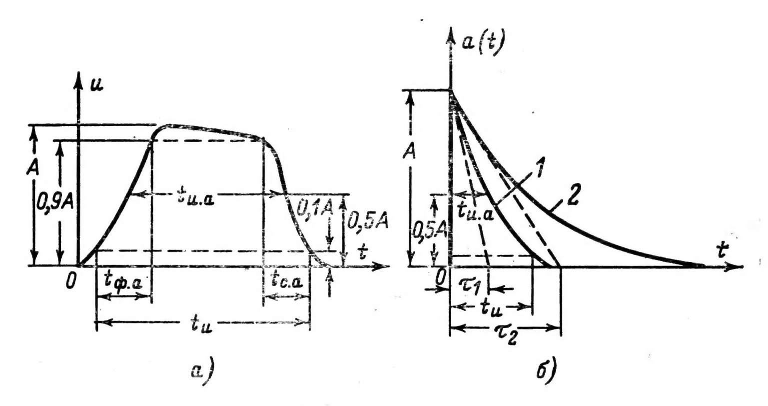


Рис. 1. Параметры импульсов.

а — импульс трапецеидальной формы; *б* — экспоненциальные импульсы; у импульса *1* постоянная времени τ больше, чем у импульса *2*.

Иногда вместо длительности фронта (спада) импульса применяют произвольный параметр — крутизну фронта (спада). Крутизна фронта характеризует скорость нарастания импульсного напряжения, а крутизна спада — скорость его убывания.

Крутизна переднего фронта может быть определена по формуле

$$S = \frac{A}{t_ф}. \quad (1)$$

В цифровой технике часто выдвигается требование получения импульсов с возможно более коротким фронтом, что необходимо для надежного и более точного срабатывания различных устройств.

Особого внимания заслуживает импульс экспоненциальной формы (рис. 1, *б*). Свое название импульс получил от наименования математической функции — экспоненты, описывающей зависимость величины импульса от времени, т. е.

$$a(t)=\begin{cases} Ae^{-\frac{t}{\tau}} & \text{при } t \geqslant 0; \\ 0 & \text{при } t < 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $e \approx 2{,}718$ — основание натуральных логарифмов;

τ — постоянная времени, характеризующая быстроту спада импульса.

Определим активную длительность экспоненциального импульса. Для этого в формулу (*2*) вместо $a(t)$ подставим значение, соответствующее половинной амплитуде импульса $0{,}5A$, а вместо времени t — величину активной длительности импульса $t_{и.а}$. Тогда из формулы (2) получим:

$$0{,}5A = Ae^{-\frac{t_{и.а}}{\tau}} \quad (3)$$

или

$$e^{\frac{t_{и.а}}{\tau}} = 2.$$

Логарифмируя правую и левую части, получим:

$$t_{и.а} = \tau \ln 2. \quad (4)$$

В таблице натуральных логарифмов находим $\ln 2 = 0{,}7$ и

$$t_{и.а} \approx 0{,}7\tau. \quad (5)$$

Таким образом, активная длительность экспоненциального импульса равна 0,7 от постоянной времени τ.

Определим таким же способом длительность импульса $t_и$ н уровне 0,1 от основания. Для этого поступим, как в первом случае, и записав равенство

$$0{,}1A = Ae^{-\frac{t_и}{\tau}}, \quad (6)$$

найдем:

$$t_и = \tau \ln \frac{1}{0{,}1} = 2{,}3\tau. \quad (7)$$

Отсюда видим, что импульс спадает на 90% от амплитуды за время, равное 2,3 постоянной времени τ. Необходимо отметить, что определенные выше длительности импульса при фиксированном уровне отсчета зависят только от постоянной времени экспоненты.

Периодическая последовательность импульсов любой формы характеризуется следующими параметрами:

$T_и$ — период следования импульсов;

$F_и$ — частота следования, равная $1/T_и$;

$T_п$ — длительность паузы между импульсами;

Q — скважность, т. е. отношение периода к длительности импульса $T_и/t_и$;

$K_з$ — коэффициент заполнения, равный отношению длительности импульса к периоду следования $t/T_и$.

При прохождении импульса через радиотехнические цепи, содержащие емкости, индуктивности и сопротивления, форма импульса не остается постоянной, а претерпевает ряд изменений, обусловленных переходными процессами в этих цепях. Переходными называются такие электрические процессы, которые связаны с изменением общего запаса энергии в электрических цепях. Как только прекращается изменение общего запаса энергии, переходный процесс заканчивается. Переходный процесс наблюдается при включении и выключении

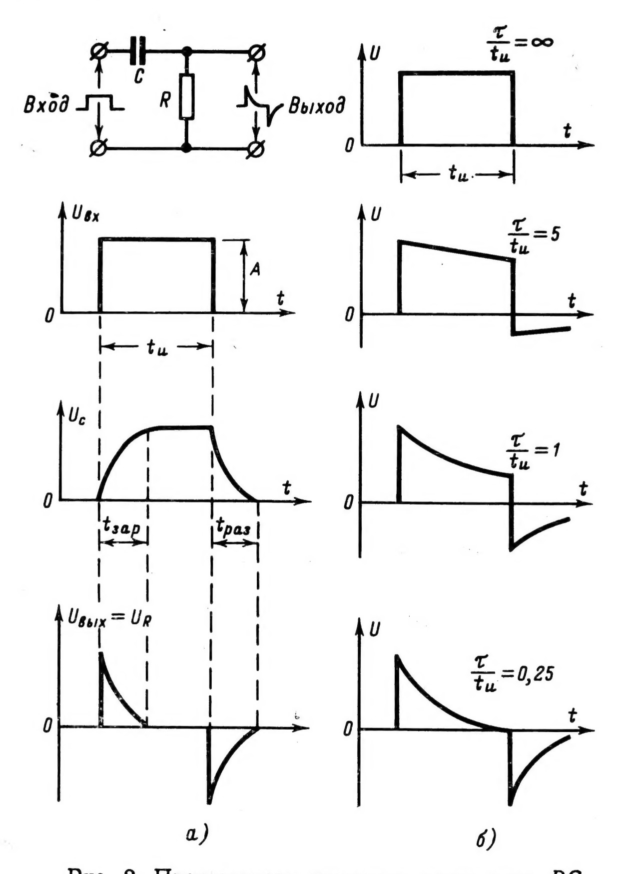


Рис. 2. Прохождение импульса через цепь RC.

а — цепь RC и графики напряжения на ее элементах; *б* — форма напряжений на выходе цепи RC для различных отношений $\tau/t_и$.

источников напряжения и тока в цепях, которые содержат индуктивность или емкость или то и другое вместе. Он происходит также при подключении сопротивлений, емкостей или индуктивностей к различным участкам цепи, на которых имеет место падение напряжения.

Рассмотрим переходные процессы в цепи, состоящей из конденсатора C и резистора R, при подаче на ее вход импульса прямоугольной формы (рис. 2, *а*).

Пусть длительность импульса $t_и$ значительно больше длительности переходного процесса. После прихода переднего фронта импульса конденсатор C начнет заряжаться. На выходе цепи возникнет остроконечный импульс, спадающий по экспоненте с постоянной времени $\tau = RC$. Он имеет ту же полярность, что и прямоугольный входной импульс. После окончания действия входного импульса на выходе цепи появится второй остроконечный импульс, полярность которого будет противоположна полярности входного импульса.

Цепь RC, у которой постоянная времени $\tau = RC$ много меньше длительности входного импульса, называется дифференцирующей (обостряющей) цепью. Дифференцирующие цепи широко используются в устройствах цифровой техники для получения кратковременных импульсов, соответствующих по времени фронту или спаду входного импульса.

В том случае, когда длительность входного импульса $t_и$ меньше, чем постоянная времени цепи $\tau = RC$, прямоугольный импульс закончится раньше процесса заряда конденсатора. В момент окончания прямоугольного импульса напряжение на конденсаторе будет меньше амплитуды импульса, а напряжение на выходе цепи будет равно разности амплитуды импульса и напряжения на конденсаторе. В момент окончания прямоугольного импульса на входе цепи появится скачок напряжения на резисторе R, равный напряжению на конденсаторе, но обратной полярности.

Если постоянную времени цепи $\tau = RC$ увеличивать, то напряжение на выходе будет приближаться к амплитуде входного импульса, а напряжение на конденсаторе — к нулевому значению. При очень большой величине τ ($\tau \gg t_и$) прямоугольный импульс пройдет через цепь RC практически без искажений, так как за время действия импульса напряжение на конденсаторе не успевает измениться, и импульс на резисторе R повторяет импульс на входе. Такая цепь RC называется переходной (разделительной) и широко применяется в многокаскадных усилителях для связи между отдельными каскадами. Форма напряжения на выходе цепи RC для различных отношений постоянной времени $\tau = RC$ к длительности импульса $t_и$ показана на рис. 2, *б*.

В цифровых устройствах часто применяются интегрирующие (сглаживающие) RC-цепи. При интегрировании импульсов происходит не укорочение, а увеличение длительности импульсов (рис. 3, *а*). Интегрирующая цепь, как и дифференцирующая, представляет собой последовательное соединение резистора и конденсатора, но выходное напряжение снимается не с резистора, а с конденсатора. Помимо этого, интегрирующая цепь отличается от дефференцирующей и тем, что постоянная времени цепи здесь должна быть того же порядка, что и длительность импульса.

При воздействии на вход интегрирующей цепи прямоугольного импульса в момент времени t_1 (рис. 3, *б*) начинается медленный экспоненциальный заряд конденсатора C, который продолжается в течение всего времени действия импульса. В момент окончания им-

пульса t_2 начинается медленный экспоненциальный разряд конденсатора C, который продолжается и после окончания входного импульса. Напряжение на конденсаторе имеет вид искаженного импульса с растянутыми фронтом и спадом. Чем больше постоянная времени цепи τ, тем более длинным получается импульс на выходе цепи, но при этом значительно уменьшается его амплитуда, так как конденсатор не успевает полностью зарядиться за время действия входного импульса.

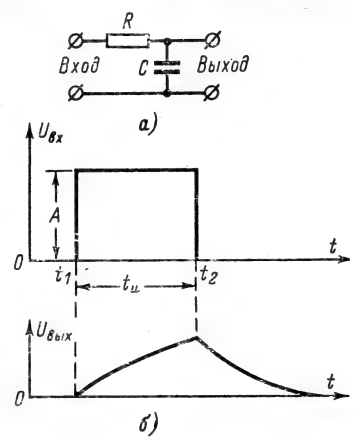


Рис. 3. Интегрирующая RC-цепь (*а*) и форма импульса на ее входе и выходе (*б*).

Интегрирующие цепи находят широкое применение в различных радиотехнических устройствах для селекции импульсов по длительности (например, в телевизионных приемниках).

В устройствах цифровой техники для формирования и преобразования импульсов используются обычные электрорадиоэлементы (лампы, газоразрядные и полупроводниковые приборы), работающие в режиме переключения. Переключающий элемент можно представить в виде ключа, который может поочередно переходить в одно из двух устойчивых состояний: *включено* и *выключено*.

Если ток через переключающий элемент не проходит, т. е. элемент находится в запертом состоянии (*выключенном*), то такой режим соответствует разомкнутому ключу. Если через переключающий элемент проходит значительный ток, т. е. элемент находится в отпертом состоянии, то такой режим соответствует замкнутому ключу.

По аналогии с двоичной системой счисления, в которой существуют два дискретных значения «0» и «1», состояния ключа также можно обозначить этими цифрами. Иначе говоря, «1» соответствует состоянию *включено*, «0» — *выключено*.

2. Понятия алгебры логики

Устройства цифровой техники всегда содержат в себе довольно сложные преобразующие устройства, в которых выходной сигнал является функцией ряда одновременно приложенных входных сигналов. При этом считается, что как выходной, так и входные сигналы могут принимать только два значения — «0» или «1».

Задача построения таких устройств сводится к отысканию таких схемных решений, которые обеспечили бы требуемые преобразования. Однако в большинстве случаев задача отыскания нужных схемных решений сложна и без применения математического аппарата алгебры логики может привести к очень сложным построениям разрабатываемых устройств.

Отличительной особенностью алгебры логики является то, что она оперирует только двумя понятиями — истинно («1») и ложно («0»).

В основе алгебры логики лежат следующие основные логические операции:

1. **Логическое умножение.** Операция логического умножения предметов a и b представляет собой действие, выделяющее из всех рассматриваемых предметов только такие, которые обладают одновременно свойствами a и b. Обозначается логическое умножение, так же как и обычное умножение, точкой и читается как союз *И*.

Из определения логического умножения следует, что выражение ab принимает значение истинности только тогда, когда a и b истинны. Во всех остальных случаях ab ложно.

Отсюда

$$0 \cdot 0 = 0;$$
$$0 \cdot 1 = 0;$$
$$1 \cdot 0 = 0;$$
$$1 \cdot 1 = 1.$$

2. **Логическое сложение.** Под логическим сложением предметов a и b понимается операция, выделяющая все предметы, обладающие свойствами a или свойствами b, т. е. не исключение одного другим, а признание равноценности того или другого.

Обозначается логическое сложение знаком «+» (плюс) или читается как союз *ИЛИ*.

Следовательно, $a+b$ ложно только тогда, когда a и b ложны. Во всех остальных случаях $a+b$ истинно:

$$0 + 0 = 0;$$
$$0 + 1 = 1;$$
$$1 + 0 = 1;$$
$$1 + 1 = 1.$$

3. **Логическое отрицание.** Операция логического отрицания высказывания a, обозначаемая символом a, есть высказывание, которое истинно, когда a ложно.

Отсюда если $a=1$, то $\bar{a}=0$, или если $a=0$, то $\bar{a}=1$.

Над рассмотренными основными логическими операциями можно производить различные преобразования согласно следующим законам алгебры логики.

Переместительный закон

$$a + b = b + a; \qquad (8)$$
$$ab = ba. \qquad (9)$$

Сочетательный закон

$$(a + b) + c = a(b + c); \qquad (10)$$
$$(ab)c = a(bc). \qquad (11)$$

Распределительный закон

$$ab + ac = a(b + c); \qquad (12)$$
$$a + bc = (a + b)(a + c). \qquad (13)$$

Закон инверсии

$$\overline{ab} = \bar{a} + \bar{b}; \tag{14}$$

$$\overline{a + b} = \overline{ab}. \tag{15}$$

Законы (13), (14) и (15) являются специфическими для алгебры логики. Закон (13) часто называют правилом упрощенного умножения.

Из приведенных основных логических операций и законов, которым они подчиняются, можно вывести ряд весьма важных соотношений, широко используемых при преобразованиях логических выражений. К ним относятся всегда истинные и всегда ложные выражения равносильности и простейшие следствия.

Всегда истинным называется такое выражение, истинность которого равна единице независимо от значений входящих в него логических переменных.

Простейшими всегда истинными выражениями являются:

$$a + 1 = 1;$$

$$a + a = 1.$$

Справедливость этих выражений следует из определения операции логического сложения.

Всегда ложным называется такое выражение, истинность которо равна нулю независимо от значений входящих в него логических переменных.

Простейшими всегда ложными выражениями являются:

$$a \cdot 0 = 0;$$

$$a \cdot a = 0.$$

Некоторые равносильности

$$a + a + a + \cdots + a = a;$$

$$a \cdot a \cdot a \cdots = a^n = a;$$

$$a \cdot 1 = a;$$

$$a = a.$$

Простейшие следствия

$$a + \bar{a}b = a + b;$$

$$a + a\bar{b} = \bar{a} + b;$$

$$a\,(1 + b) = a;$$

$$a\,(a + b) = a.$$

Следствием закона инверсии (14) и (15) является закон симметричности логических выражений. Согласно этому закону любому выражению от двух или более переменных вида *И — ИЛИ* соответствует равносильное выражение вида *ИЛИ — И*, в котором сложение заменено умножением, а умножение сложением. Обратное преобразование также справедливо

$$ab + cd = (a + c)\,(a + d)\,(b + c)\,(b + d); \tag{16}$$

$$ab + \bar{a}\,\bar{b} = (a + \bar{b})\,(\bar{a} + b). \tag{17}$$

Кроме трех основных логических операций, в переключающих и преобразующих устройствах применяются производные от них более сложные логические связи: запрещение, равнозначность и отрицание равнозначности.

Под запрещением понимают логическую операцию, в которой один из двух входных сигналов, если он появляется, запрещает другой.

Математически логическая операция запрещения характеризуется выражением

$$A = a\overline{b}, \qquad (18)$$

некоторое означает, что сигнал b запрещает сигнал a. Действительно если $b=1$, то независимо от значения a всегда $A=0$.

Равнозначность — это логическая операция, согласно которой выражение от двух переменных принимает значение истинности только тогда, когда обе переменные одинаковы. Во всех остальных случаях оно ложно (0).

Для обозначения этой логической операции используется символ $\leftarrow\rightarrow$.

Такая зависимость представляется в виде

$$0 \longleftrightarrow 0 = 1;$$

$$0 \longleftrightarrow 1 = 0;$$

$$1 \longleftrightarrow 0 = 0;$$

$$1 \longleftrightarrow 1 = 1.$$

Математически логическая операция равнозначности характеризуется выражением

$$A = ab + \overline{a}\,\overline{b}. \qquad (19)$$

Логическая операция отрицания равнозначности означает, что выражение от двух переменных принимает значение истинности (1) только в том случае, когда входящие в него переменные различны. При равенстве переменных оно равно 0.

Для обозначения этой логической операции используется символ $\oplus$.

Такая зависимость имеет следующий вид:

$$0 \oplus 0 = 0;$$

$$1 \oplus 0 = 1;$$

$$0 \oplus 1 = 1;$$

$$1 \oplus 1 = 0.$$

Логическая операция «отрицание равнозначности» математически характеризуется выражением

$$A = a\overline{b} + \overline{a}b. \qquad (20)$$

Как следует из алгебры логики, любое сложное выражение, связывающее между собой логические переменные a, b, c..., представляет совокупность только трех основных логических операций: умножения, сложения и отрицания.

Аналогично этому любое двоичное преобразующее устройство цифровой техники представляет собой совокупность трех простей-

Таблица 1

Изображение логических функций

Функция	Содержание логической функции	Структурная формула	Условное обозначение
И	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 W: 0 0 0 1	$f_{(w)}=ab$	
ИЛИ	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 W: 0 1 1 1	$f_{(w)}=a+b$	
НЕ	A: 0 1 W: 1 0	$f_{(w)}=\bar{a}\,(b+\bar{a})$	
И—НЕ	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 W: 1 1 1 0	$f_{(w)}=\bar{a}+\bar{b}$; $f_{(w)}=\overline{ab}$	
ИЛИ—НЕ	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 W: 1 0 0 0	$f_{(w)}=\bar{a}\bar{b}$; $f_{(w)}=\overline{a+b}$	
ЗАПРЕТ	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 W: 0 1 0 0	$f_{(w)}=\bar{a}b$	
ИМПЛИКАЦИЯ	A: 0 0 1 1 B: 0 1 0 1 W: 1 1 0 1	$f_{(w)}=\bar{a}+b$	

ших схем, реализующих основные логические операции: умножение, сложение и отрицание. И, наоборот, располагая тремя простейшими схемами, можно построить сколь угодно сложное двоичное преобразующее устройство.

Значение выходного сигнала определяется выполняемой логической функцией схемы и значениями входных сигналов.

Для n сигналов существует 2^{2^n} логических функций. При числе аргументов $n=2$ число возможных логических функций равно $2^4=16$.

Из 16 логических функций практический интерес представляют:

И (совпадение, операция логического умножения);

ИЛИ (объединение или операция логического сложения);

НЕ (инверсия или операция логического отрицания);

НЕТ (запрет или операция запрещения);

РАВНОЗНАЧНОСТЬ (эквивалентность);

НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ (операция отрицания равнозначности, неэквивалентность);

НЕ—И (инверсия произведения, операция Шеффера);

НЕ—ИЛИ (инверсия суммы, операция Пирса);

ИМПЛИКАЦИЯ (следование, включение).

Условные обозначения наиболее распространенных логических операций в структурных схемах электронных устройств показаны в табл. 1.

3. Системы счисления, перевод чисел из одной системы счисления в другую

Системой счисления называют способ представления чисел при помощи определенных знаков (символов). В распространенной десятичной системе счисления применяются десять знаков (арабских цифр): 0, 1, 2, 3, . . ., 9.

Общая формула для представления целых положительных чисел имеет вид:

$$a = \sum_{k=0}^{\infty} akB^k, \qquad (21)$$

где B — целое положительное число, называемое основанием системы счисления;

k — цифры 0, 1, 2, 3 . . .

Эта формула позволяет представить положительные числа разными способами и в разных системах счисления. Основанием системы счисления может быть любое целое число, большее единицы.

Двоичная система счисления, применяемая в цифровых вычислительных машинах и многочисленных устройствах дискретного действия, имеет основание $B=2$, при котором изображение всех цифр данного разряда осуществляется двумя знаками 0 и 1. Символами двоичной системы счисления могут быть не только цифры 0 и 1, но и высказывания *ДА* или *НЕТ*, что позволяет легко применять в устройствах цифровой техники аппарат алгебры логики.

Преимуществом двоичной системы счисления является простота реализации математических и логических действий при помощи электронных схем, работающих в ключевом режиме и способных принимать только два устойчивых состояния. Символы двоичной систе-

мы счисления могут воспроизводиться также наличием или отсутствием какого-либо признака: например, наличием или отсутствием пробивки на определенном месте перфокарты, наличием или отсутствием определенной намагниченности участка магнитной ленты и т. п.

Числа в двоичной системе счисления имеют более длинную запись, чем в десятичной, так как содержат большее число разрядов. Однако двоичная система по числу электронных схем, которые необходимы для отображения определенного числа с данным количеством разрядов, примерно в полтора раза экономичнее десятичной.

В десятичной системе счисления мы мыслим «десятками». Число 49, например, будет означать для нас

$10+10+10+10+9=49.$

Это можно записать и так

$(4 \cdot 10)+(9 \cdot 1)=49$

или $4 \cdot (10^1)+9 \cdot (10^0)=49.$

Аналогично число 2 345 означает

$2\,000+300+40+5=2\,345$

или $2\,(10^3)+3\,(10^2)+4\,(10^1)+5\,(10^0)=2\,345.$

Мы видим, что число 10 повторяется в разных степенях. Поэтому можно сказать, что все числа образуются из общего количества знаков выбранной системы счисления (основания системы счисления), возводимого в разные степени. Следует обратить внимание на то, что основание возводится во все более возрастающие степени по мере перемещения влево по строке, т. е. при переходе от низшего разряда числа к высшему.

Такое, например, число, как 46,21 может быть представлено следующим образом:

$4 \cdot (10^1)+6 \cdot (10^0)+2 \cdot (10^{-1})+1 \cdot (10^{-2})=40+6+0{,}2+0{,}01=46{,}21.$

Теперь рассмотрим, как можно перевести число, выраженное в десятичной системе счисления, в двоичную или наоборот — из двоичной в десятичную.

Вернемся к числу 2 345 и посмотрим, что мы сделали для выделения различных цифр, начиная с разряда единиц.

Разделим данное число на 10

$2\,345=10 \cdot 234+5.$

Остаток 5 представляет разряд единиц. Разделим снова частное на 10

$234=10 \cdot 23+4.$

Остаток 4 относится к разряду десятков. Наконец, остаток и частное последнего деления на 10 выражают соответственно разряды сотен и тысяч

$23=10 \cdot 2+3.$

Таким же способом, посредством деления на 2, можно легко образовать, например, двоичный эквивалент десятичного числа 49

$$49=2 \cdot 24+1;$$
$$24=2 \cdot 12+0;$$
$$12=2 \cdot 6+0;$$
$$6=2 \cdot 3+0;$$
$$3=2 \cdot 1+1.$$

Следовательно, двоичное число 49 запишется как 11 0001.

Перевод чисел из десятичной системы счисления в двоичную значительно упрощается с помощью восьмеричной системы (т. е. системы с основанием 8), которая используется в качестве промежу-

точной. Дело в том, что что основание этой системы равно как раз третьей степени числа 2. Поэтому двоичный эквивалент числа, выраженного в восьмеричной системе, легко получается последовательной записью двоичных эквивалентов каждой из цифр числа, записанных тремя двоичными разрядами. Например, двоичный эквивалент восьмеричного числа 645 запишется как 110 100 101.

С другой стороны, восьмеричный эквивалент какого-либо числа, записанного в двоичной системе счисления, получается разделением цифр в группе по три, начиная справа, и записью эквивалентов каждой из групп в восьмеричной системе. Так, например, число 011 111 100 двоичной системы счисления будет эквивалентно восьмеричному числу 374.

Перевод десятичного числа в восьмеричную систему счисления может быть легко осуществлен посредством последовательного деления на 8. В качестве примера найдем восьмеричное представление числа 2 345

$$2\,345=8\cdot 293+1;$$
$$293=8\cdot 36+5;$$
$$36=8\cdot 4+4;$$

Следовательно, это число в восьмеричной системе запишется как 4 451. А в двоичной системе оно будет иметь вид 100 100 101 001.

Двоичное представление дробного числа, записанного в десятичной системе счисления, вычисляется последовательным умножением на 2. Целые части последовательных произведений соответствуют последовательности цифр двоичного представления дробного числа.

Определим, например, двоичное представление десятичного числа 0,64 с округлением до единицы третьего разряда.

$$0{,}64\cdot 2=1{,}28;$$
$$0{,}28\cdot 2=0{,}56;$$
$$0{,}56\cdot 2=1{,}12;$$
$$0{,}12\cdot 2=0{,}24;$$
$$0{,}24\cdot 2=0{,}48;$$
$$0{,}48\cdot 2=0{,}96.$$

Отсюда получается результат 0,101. В случае округления до единицы седьмого разряда получим число 0,1010001.

В результате умножения на 8 таким же образом можно получить восьмеричное представление дробного числа, записанного в десятичной системе.

Например, для десятичного числа 0,432 существует восьмеричный эквивалент 0,335 (с округлением до третьего знака)

$$0{,}432\cdot 8=3{,}456;$$
$$0{,}456\cdot 8=3{,}648;$$
$$0{,}648\cdot 8=5{,}164.$$

Полученное число можно сразу записать в двоичной системе счисления как 0,011011101.

Так как число, выраженное в двоичной системе счисления, представляется в виде последовательности степеней числа 2: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 и т. д., можно легко перейти от двоичного числа к десятичному. Например, двоичное число 1 101 имеет смысл $1\cdot(2^3)+1\cdot(2^2)+0\cdot(2^1)+1\cdot(2^0)=13$.

Любое двоичное число имеет свой десятичный эквивалент (табл. 2). При определении десятичных эквивалентов различных чи-

Таблица 2

Двоичные эквиваленты десятичных чисел

Десятичное число	Двоичный эквивалент	Десятичное число	Двоичный эквивалент
1	1	60	111 100
2	10	70	1 000 110
3	11	80	1 010 000
4	100	90	1 011 010
5	101	100	1 100 100
6	110	200	11 001 000
7	111	300	100 101 100
8	1 000	400	110 010 000
9	1 001	500	111 110 100
10	1 010	600	1 001 011 000
11	1 011	700	1 010 111 100
12	1 100	800	1 100 100 000
13	1 101	900	1 110 000 100
14	1 110	1 000	1 111 101 000
15	1 111	10 000	10 011 100 010 000
16	10 000	100 000	11 000 011 010 100 000
17	10 001	1 000 000	11 110 100 001 001 000 000
18	10 010		
19	10 011		
20	10 100		
30	11 110		
40	101 000		
50	110 010		

сел, представленных в двоичной системе счисления, можно пользоваться табл. 3, в которой приведено несколько значений степеней основания 2.

Правила всех арифметических действий в двоичной системе счисления те же, что и десятичной, но таблицы сложения и умножения приобретают особенно простой вид.

При сложении чисел десятичной системы мы должны помнить, что, например, 7 плюс 1 равно 8, а 5 плюс 12 равно 17 и т. п. В двоичном счете необходимо помнить лишь следующие простые правила:

1) 0 плюс 1 равно 1;



Таблица 3

Степени оснований

Системы счисления		
двоичная	восьмеричная	десятичная
$2^0=1$	$8^0=1$	$10^0=1$
$2^1=2$	$8^1=8$	$10^1=10$
$2^2=4$	$8^2=64$	$10^2=100$
$2^3=8$	$8^3=512$	$10^3=1\,000$
$2^4=16$	$8^4=4\,096$	$10^4=10\,000$
$2^5=32$	$8^5=32\,768$	$10^5=100\,000$
$2^6=64$	$8^6=262\,144$	$10^6=1\,000\,000$
$2^7=128$	$8^7=2\,097\,152$	
$2^8=256$	$8^8=16\,777\,216$	
$2^9=512$		
$2^{10}=1\,024$		
$2^{11}=2\,048$		
$2^{12}=4\,096$		

2) 1 плюс 0 равно 1;
3) 0 плюс 0 равно 0;
4) 1 плюс 1 равно 0 плюс единица переноса в следующий разряд.

Например:

$$\begin{array}{r} + \begin{array}{r} 1010 \\ 1101 \end{array} \\ \hline 10111 \end{array}.$$

Посмотрим, насколько это согласуется со сложением величин, выраженных в десятичной системе счисления. Двоичное число 1010 соответствует десятичному числу 10, а двоичное число 1101 — десятичному числу 13. Сумма этих чисел должна быть равна 23. В двоичном счете сумма оказалась равной 10111 и, таким образом:

$$10111=1(2^4)+0(2^3)+1(2^2)+1(2^1)+1(2^0)=23;$$
$$10111=16+0+4+2+1=23.$$

Вычитание в двоичной системе счисления несколько сложнее процесса сложения и требует применения приема, называемого дополнением. Дополнение означает замену вычитания данного числа на сложение с числом, дополнительным к данному числу.

Если к определенному числу найдено дополнение, то последнее позволяет произвести вычитание путем сложения. Поясним это на примере с десятичными числами. Вычтем 38 из 45. Приняв за фиксированное число 100, найдем, что дополнением к 38 будет число

62 (100—38). Теперь, чтобы произвести вычитание, сложим дополнение (62) с 45:

$$62+45=107.$$

Если теперь опустить фиксированное число 100, то получим число 7, являющееся результатом вычитания. При этом следует обратить внимание на то, что фиксированное число имеет порядок $n+1$, если количество знаков в вычитаемом равно n.

Дополнительное число (или дополнительный код) к выбранному двоичному числу получается путем инвертирования каждого знака данного числа (т. е. замены 1 на 0 и 0 на 1) и прибавлением единицы в низшем разряде полученного таким образом числа.

Например, чтобы найти дополнительный код к двоичному числу 1001, инвертируем каждый разряд данного числа и к полученному новому числу 0110 добавляем единицу в низшем разряде. В результате получим число 0111, которое и является дополнительным кодом к числу 1001.

Дополнительный код используется для вычитания посредством сложения следующим образом.

Пусть требуется вычесть 0100 (десятичное число 4) из 1100 (десятичное число 12). Дополнительным кодом к вычитаемому будет число 1100, тогда

$$\begin{array}{r} +\begin{array}{r}1011\\0001\end{array} \\ \hline 1100 \end{array},$$

прибавим это число к уменьшаемому 1100:

$$\begin{array}{r} +\begin{array}{r}1100\\1100\end{array} \\ \hline 11000 \end{array}.$$

Единица самого старшего разряда полученной суммы отбрасывается. Она означает, что в результате вычитания получилось положительное число, т. е. +1000 (десятичное число 8).

Умножение в двоичной системе производится с применением следующих простых правил:

1) $0\cdot0=0$;
2) $0\cdot1=0$;
3) $1\cdot0=0$;
4) $1\cdot1=1$.

Обычное правило — смещения влево на один порядок после каждого умножения остается в силе. Используя приведенные выше правила, выполним умножение двоичных чисел, например:

$$\begin{array}{r} \times\begin{array}{r}100\\101\end{array} \\ \hline 100\\ 000\\ 100 \\ \hline 10100 \end{array}$$

Преобразуем это число в его десятичный эквивалент: $1(2^4)+$ $+0(2^3)+1(2^2)+0(2^1)+0(2^0)=20$. Результат согласуется с результа-

том перемножения этих чисел в десятичном счислении (так как 100— есть 4, а 101 — есть 5).

Из примера видно, что перемножение двоичных чисел заключается лишь в написании множимого на соответствующем месте (при умножении на 1) или его исключении (при умножении на 0). Результаты умножения суть некоторые двоичные числа, которые надо сложить, чтобы получить произведение.

Деление в двоичной системе счисления может быть выполнено способом, во многом сходным с делением десятичных чисел, но значительно упрощенным. При этом производится сравнение делимого с делителем. Если делимое равно или больше делителя, то в частное переносится 1, а если меньше — 0. Разделим, например, 1111 (десятичное число 15) на 0101 (десятичное число 5). Ответ должен быть 3.

При делении двоичных чисел поступаем так же, как и при делении десятичных чисел:

$$\begin{array}{r|l} 1111 & 0101 \\ \underline{101} & \overline{11} \\ 0101 & \\ \underline{101} & \end{array}$$

Частное от деления (11) можно перевести в его десятичный эквивалент обычным способом

$$1(2^1)+1(2^0)=3.$$

ГЛАВА ВТОРАЯ

ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

4. Элементы и приборы

Газоразрядные приборы. В устройствах цифровой техники наряду с применением электронных ламп широко используются газоразрядные приборы с холодным катодом. Газоразрядные приборы могут быть применены для индикации электрических сигналов, генерирования импульсов различной формы для импульсного усиления по току и напряжению, а также для выполнения операций счета и логических функций.

Физические процессы, происходящие в лампах с холодным катодом, достаточно полно освещены в литературе [Л. 6, 7, 9, 10, 26], поэтому в данной главе мы напомним только основные особенности этих процессов и дадим краткую характеристику конструктивных особенностей некоторых газоразрядных приборов.

В индикаторах и тиратронах треющего разряда катод испускает электроны вследствие бомбардировки его ионами, образующимися в газе, и не требует принудительного разогрева. Применение холодного катода исключает цепи накала, обеспечивает высокую надежность, достаточную стабильность и незначительный разброс параметров приборов (правда, это относится главным образом к чисто металлическим катодам).

Процессы зажигания и гашения тлеющего разряда носят пороговый характер, что приводит к скачкообразному возникновению и прекращению разрядного тока.

В многоэлектродных лампах тлеющего разряда управление зажиганием основано на зависимости потенциала зажигания от начальной концентрации электронов в газовом промежутке, источником которых является вспомогательный разряд.

При прохождении разрядного тока в приборе возникает свечение, что позволяет использовать их в качестве индикаторов.

Параметры приборов тлеющего разряда приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Основные параметры индикаторов тлеющего разряда

Тип прибора	Напряжение зажигания, *в*	Ток, *ма*	Наименьшее напряжение горения, *в*	Сила свечения, *мсв*	Свечение		Размер	
							мм, d	*мм, h*
ТН-0,15	150	0,15	—	0,25—0,85	Боковое	Оранжево-красное	9	33
ТН-0,2	85	0,25	65	1,5—3,0	Торцовое		9	33
ТНИ-1,5	150	1,5	90	3,0—5,0	Торцовое		—	—
ИН-1	200	2,5	140	7,0—22,0	Торцовое в виде арабских цифр		30	65
ИН-2	200	1,5	100	3,0—10,0	Торцовое в виде арабских цифр		19	40
ИН-3	65—85	0,2	65	—	Боковое		7,3	27
ИН-4	170	2,5	100	—	Торцовое в виде арабских цифр		31	46

Наиболее простые газоразрядные лампы с двумя электродами, разработанные первоначально только для сигнальных целей, получили название неоновых ламп. Примером двухэлектродного индикатора тлеющего разряда может служить лампа ТНИ-1,5, которая предназначена для индикации напряжения постоянного или переменного тока. Электроды данной лампы имеют форму диска и кольца и выполнены из молибдена. Лампы наполнены неоном с добавлением 1% аргона. Оранжево-красное свечение наблюдается со стороны купола лампы, имеющего форму линзы. Чтобы предотвратить оседание металлического налета на стекло колбы, в этом индикаторе применена защитная сетка, которая располагается над электродами.

Особую группу представляют цифровые индикаторы тлеющего разряда типов ИН-1, ИН-2 и ИН-4. Они предназначены для ви-

Таблица 5

Основные параметры тиратронов тлеющего разряда

Тип прибора	U_a, *в*	$U_{гор.а.к}$	I_a, *ма*	$I_{гор.с.к}$	$I_{с.заж.}$, *мка*	$\tau_{имп}$, *мксек*	$\tau_{восст}$, *мксек*	Размер	
								мм, *d*	*мм*, *h*
МТХ-90	85—200	45—60	2,0	65,90	3—10	20	100—800	12	42
ТХ3Б	150—190	95—110	3,5	63—75	50	15	20—150	10	40
ТХ4Б	185—225	100—120	3,5	85—95	10	10	10—100	10	40
ТХ5Б	175—270	125—160	0,25	110—150	15	10	100—150	7,2	25
ТХ6Г	270—300	130	1,0	60—90	50	10	80—100	13	50
ТХ7Г	270—300	130	1,0	55—85	75	5	40—200	13	50
ТХ8Г	270—300	130	1,0	40—60	45—55	5	50—200	13	50
ТХ9Г	270—300	130	8,0	60	50—150	10	60—200	13	50
ТХ11Г	200—235	125	10,0	100	—	7	100—200	13	60
ТХ12Г	250—275	110	1,0	105	—	10	350	13	50
ТХ13Г	180—220	120	2,0	100	50	1	5—20	13	40
ТХИ-2С	300	140	50,0	85	500	200	1 000	33	72

Таблица 6

Стабилитроны тлеющего и коронного разрядов

Тип прибора	Напряжение зажигания $U_з$, *в*	Напряжение горения, $U_{гор}$, *в*	Ток *I*, *ма*	Температура окружающей среды *T*, °С	Размеры	
					d, *мм*	*h*, *мм*
СГ1П	175	143—155	5—30	От—60 до+90	22,5	72
СГ2П	150	104—112	5—30	От—60 до+90	22,5	72
СГ5Б	180	142—157	5—10	От—70 до+90	10,2	36
СГ15П	160	104—112	5—30	От—60 до+100	19	65
СГ16П	150	80—86	5—30	От—60 до+90	19	65
СГ20Г	135	85—91	4—15	От—60 до+155	12	45
СГ201С	150	86—92	4—15	От—60 до+100	33	64
СГ202Б	135	81—86	5—15	От—60 до+155	10	40
СГ203К	156	79—86	1—10	От—60 до+155	10	27
СГ301С	430	380—400	0,003—0,1	От—60 до+100	33	100

зуальной индикации электрического сигнала в цифровой форме. Система электродов этих ламп состоит из десяти катодов, выполненных в форме арабских цифр, и анода в виде сетчатого диска. Светящиеся цифры наблюдаются со стороны купола лампы. Цифровые индикаторы по существу представляют собой объединение в одном баллоне нескольких двухэлектродных индикаторов с общим анодом, и обычно они описываются теми же параметрами, что и двухэлектродные лампы. Запаздывание зажигания в этих лампах существенно сокращается за счет остаточных зарядов в лампе при поочередном включении катодов.

В стабилизированных источниках питания различных устройств автоматики и цифровой техники применяются газоразрядные стабилизаторы напряжения, или стабилитроны. Эти приборы по своей конструкции и технологии изготовления подобны неоновым лампам. Они работают в режиме нормального тлеющего разряда, при котором напряжение на электродах остается почти постоянным. Минимальный и максимальный токи, гарантируемая стабильность напряжения являются основными параметрами и указываются в технических условиях на прибор. Параметры отечественных стабилитронов приведены в табл. 6.

В отличие от неоновых ламп тиратроны с холодным катодом имеют дополнительные электроды, с помощью которых осуществляется влияние на напряжение зажигания промежутка анод — катод. В настоящее время для электронных устройств выпускаются триоды, тетроды, а также другие многоэлектродные лампы. Некоторые из них предназначены для выполнения логических операций (например, ТХ6Г, ТХ8Г).

Распространенный тиратрон МТХ-90 представляет собой небольшую колбочку, выполненную из стекла, внутри которой располагаются анод, сетка и катод. Катод представляет собой тонкий никелевый цилиндр диаметром 8 *мм* и длиной 12 *мм.* Внутренняя поверхность цилиндра окислена и активирована цезием. Анод изготовляется из молибденовой проволоки диаметром 0,5—0,6 *мм*, которая служит продолжением среднего ввода. Между анодом и катодом располагается сетка, выполненная в форме цилиндра. Сетка расположена вблизи катода так, чтобы напряжение зажигания между ней и катодом было меньше, чем между анодом и катодом.

Если на основной разрядный промежуток анод—катод тиратрона подать напряжение питания, меньшее напряжения зажигания, но большее напряжения горения, то тиратрон гореть не будет. Для поджигания тиратрона необходимо подать пусковое напряжение на его сетку, в этом случае в управляющем промежутке сетка—катод зажигается разряд и в цепи сетки под действием пускового сигнала возникает ток самостоятельного разряда. Часть электронов из пространства между сеткой и катодом будет перемещаться в пространство между анодом и катодом, создавая там начальную проводимость. Чем больше ток сетки, тем больше начальная проводимость промежутка анод — катод и тем меньше напряжение зажигания.

Таким образом, током сетки в несколько микроампер можно в цепи анода зажечь заряд и возбудить ток до нескольких десятков миллиампер, а при коротком импульсе — до десятых долей ампера.

Возникший разряд по цепи анода не может быть погашен посредством уменьшения потенциала сетки или даже подачей отрицательного напряжения на сетку. Это объясняется тем, что положительные ионы, заполняющие лампу, нейтрализуют отрицательный потенциал сетки. Для того чтобы погасить разряд в цепи анода, необходимо уменьшить анодное напряжение до значения меньшего напряжения горения либо разорвать на некоторое время цепь питания. Погасить разряд в лампе можно также подачей гасящего импульса положительной полярности на катод или импульса отрицательной полярности на анод.

Из приборов тлеющего разряда, предназначенных для выполнения логических операций, остановимся на тиратронах ТХ6Г и ТХ8Г.

Логический тиратрон ТХ6Г предназначен для выполнения операции *Память.* Этот тиратрон состоит из двух элементов, один из которых служит для записи информации, а другой — для считывания.

Разряд между анодом и катодом элемента записи служит источником начальных электронов для следующего промежутка, в котором имеются своя управляющая сетка и анод для считывания информации. В элементе считывания зажигание определяется тормозящим полем управляющей сетки: при повышении напряжения на сетке до критического значения возникает разряд на анод считывания (в том случае, когда проходит анодный ток в элементе записи). Считывание может производиться многократно, так как прохождение импульса тока в цепи анода считывания не вызывает стирания (т. е. гашения разряда в элементе записи).

Логический тиратрон ТХ8Г предназначен для выполнения операции *И*. Кроме анода и катода, он имеет группу электродов для управления зажиганием: сетку для подготовительного разряда и две управляющие сетки. Катод лампы выполнен из молибдена. Тиратрон

наполняется неоном. Управление возникновением анодного тока основано на том, что напряжение зажигания разряда между анодом и катодом снижается при возрастании концентрации начальных электронов. Источником начальных электронов служит разряд между сеткой подготовительного разряда и катодом. Прохождение электронов к аноду определяется тормозящим полем, созданным совместным действием двух управляющих сеток. Зажигание происходит при уменьшении тормозящего потенциала, т. е. при повышении пороговых значений напряжений на обеих сетках одновременно. Красное свечение тиратрона наблюдается с боковой стороны купола.

Специальной газоразрядной лампой, осуществляющей операцию счета, является декатрон. Устройство и принцип действия декатронов подробно рассмотрены в гл. 3.

Полупроводниковые приборы. Не останавливаясь подробно на механизме электропроводности полупроводниковых приборов, который описан в ряде источников [Л. 19, 21, 25], отметим только некоторые особенности, обусловливающие их применение в цифровой технике.

Из многочисленных типов полупроводниковых диодов, применяемых в устройствах цифровой техники, наибольший интерес для радиолюбительской практики представляют импульсные диоды, стабилитроны и тиристоры (переключающие диоды).

Импульсные диоды предназначены для использования в качестве ключевых элементов различных устройств, работающих при малых длительностях импульсов и переходных процессов.

Эти диоды характеризуют следующие параметры:

1. Максимальный прямой импульсный ток $I_{пр.имп.макс}$;
2. Прямое импульсное сопротивление $R_{пр.имп}$;
3. Время установления прямого сопротивления диода $\tau_{уст}$ — интервал времени от начала импульса прямого тока до момента, когда напряжение на диоде упадет до 1,2 установившейся величины).
4. Время восстановления обратного сопротивления $\tau_{восст}$ — (интервал времени от момента, когда ток через диод равен нулю, до момента, когда обратный ток уменьшится до заданного уровня.

Опорные диоды (стабилитроны) в основном предназначены для стабилизации напряжения в различных цепях радиоэлектронной аппаратуры, но их можно использовать и в некоторых устройствах цифровой техники, например, в формирующих цепях, ограничителях напряжения, спусковых схемах и т. п.

Основным параметром опорных диодов является величина напряжения стабилизации в рабочей области $U_{ст}$. Другим параметром стабилитронов является величина дифференциального сопротивления $R_д$:

$$R_д = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}, \qquad (22)$$

где $\Delta U_{ст}$ — изменение напряжения стабилизации; $\Delta I_{ст}$ — изменение тока стабилизации.

В настоящее время выпускаются стабилитроны на напряжение от 3 до 180 *в*. Типичная вольт-амперная характеристика стабилитрона показана на рис. 4, *а*.

Переключающие четырехслойные *p-n-p-n* или *n-p-n-p* диоды изготовляются управляемыми и неуправляемыми. Эти полупроводниковые приборы предназначены для применения в схемах автоматиче-

ского управления, а также могут быть использованы в различных релаксационных генераторах, ячейках памяти, стабилизаторах выходного напряжения и в других устройствах.

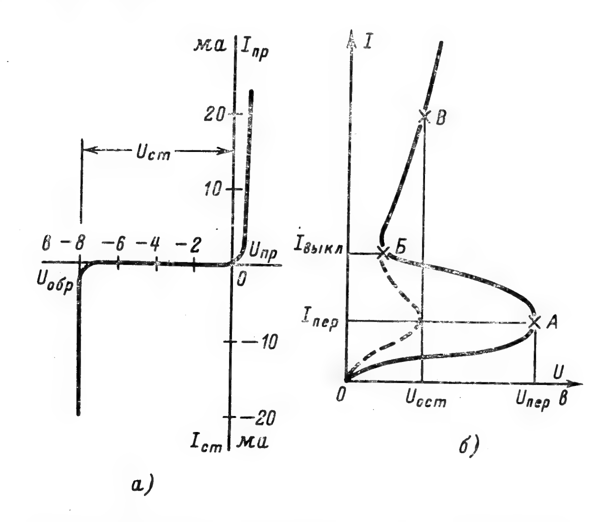


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики полупроводниковых диодов.

а — стабилитрона; *б* — переключательных диодов.

Типичная вольт-амперная характеристика переключающего диода приведена на рис. 4, *б*. Здесь участок *ОА* соответствует выключенному состоянию диода, а точка *А* соответствует напряжению переключения. При некотором небольшом превышении напряжения переключения диод резко уменьшает свое сопротивление (участок *АБ*) и переходит в состояние проводимости. При этом прямой ток, проходящий через диод, резко увеличивается и далее вольт-амперная характеристика аналогична характеристике обычного диода (участок *БВ*). Вид вольт-амперной характеристики управляемого переключающего диода при токе управления почти ничем не отличается от характеристики неуправляемого диода. Подача напряжения переключения на управляющий электрод диода смещает точку *А* влево, уменьшая таким образом величину напряжения включения в несколько раз (штриховая линия на рис. 4, *б*). После включения диода управляющее напряжение можно снять.

Чтобы выключить переключающий диод, достаточно уменьшить прямой ток до значения, немногим меньшее, чем ток выключения (точка *Б*).

Основные параметры рассмотренных полупроводниковых диодов приведены в табл. 7—10.

Особое место в современной цифровой технике занимают транзисторы. Трудно представить себе функциональные схемы и разнообразные по своему назначению радиоэлектронные устройства, где бы они ни применялись.

Таблица 7

Основные параметры полупроводниковых диодов

Параметры	Тип диода								
	Д2Е	Д2Ж	Д15	Д16	Д18	Д310	Д311	Д219	2Д503А
Максимальная частота F, *Мгц*	150	150	300	300	—	—	—	—	—
Обратное напряжение $U_{обр}$, *в*	110	150	30	50	20	20	30	70	30
Прямой ток $I_{пр}$, *ма* . .	10	2—10	15	5	16	250	20—40	20—50	10
Максимальный ток при переключении $I_{макс}$, *а* .	0,4	0,4	0,1	0,2	0,05	0,8	0,5	0,5	0,2
Прямое сопротивление $R_{пр}$, *ом*	100—500	100—500	60	200	250	3	25	50	—
Время восстановления обратного сопротивления τ, *мксек*	—	—	—	—	0,1	0,3	0,05	0,5	0,01

Таблица 8

Полупроводниковые стабилитроны

Тип	Напряжение стабилизации $U_{ст}$, *в*	Ток стабилизации $I_{ст}$, *ма*	$R_д$, *ом*	Прямое падение напряжения при $I_{пр}$, *в*	Максимальный прямой ток $I_{пр}$, *ма*	Наибольший ток стабилизации $I_{ст.макс}$, *ма*	Наименьший ток стабилизации $I_{ст.мин}$, *ма*	Максимальная рассеиваемая мощность, *вт*
2С133А	2,9—3,6	10	65	1	50	81	3	0,30
2С139А	3,5—4,3	10	60	1	50	70	3	0,30
2С147А	4,2—5,1	10	56	1	50	58	3	0,30
2С156А	5—6,1	10	46	1	50	55	3	0,30
2С168А	6,1—7,5	10	45	1	50	45	3	0,30
Д808	7—8,5	5	6	1	50	33	3	0,28
Д809	8—9,5	5	10	1	50	29	3	0,28
Д810	9—10,5	5	12	1	50	26	3	0,28
Д811	10—12	5	15	1	50	23	3	0,28
Д813	11,5—14	5	18	1	50	20	3	0,28
Д815Е	15±15%	500	3,8	1,5	500	550	25	8
Д815Ж	18±15%	500	4,5	1,5	500	450	25	8
Д816А	22±15%	150	10	1,5	500	230	10	5
Д816Б	27±15%	150	12	1,5	500	180	10	5
Д816В	33±15%	150	15	1,5	500	150	10	5
Д816Г	39±15%	150	18	1,5	500	130	10	5
Д816Д	47±15%	150	22	1,5	500	110	10	5
Д817А	56±15%	50	52	1,5	500	90	5	5
Д817Б	68±15%	50	60	1,5	500	75	5	5
Д817В	82±15%	50	65	1,5	500	60	5	5
Д817Г	100±15%	50	75	1,5	500	50	5	5
КС620А	120±15%	50	150	1,5	500	42	5	5
КС630А	130±15%	50	180	1,5	500	38	5	5
КС650А	150±15%	50	225	1,5	500	33	2,5	5
КС680А	180±15%	25	330	1,5	500	28	2,5	5

Отметим их наиболее важные характеристики:

а) входное сопротивление $R_{вх}$, т. е. сопротивление между выводами эмиттера и базы при разомкнутой цепи коллектора, определяемое отношением изменения напряжения эмиттера к изменению тока эмиттера;

б) выходное сопротивление $R_{вых}$, т. е. сопротивление между выводами коллектора и базы при разомкнутой цепи эмиттера, определяемое отношением напряжения коллектора к току коллектора;

в) граничная частота усиления по току F_{α}, определяющая частотные свойства транзистора;

Таблица 9

Кремниевые переключающие неуправляемые диоды

Тип	Напряжение переключения $U_{пер}$, *в*	Ток переключения $I_{пер}$, *ма*	Ток выключения $I_{выкл}$, *ма*	Максимальное обратное напряжение $U_{обр}$, *в*	Обратный ток $I_{обр}$, *ма*	Максимальный постоянный ток $I_{п}$, *ма*	Максимальный импульсный ток $I_{имп}$, *а*	Время включения $\tau_{вкл}$, *мксек*	Время выключения $\tau_{выкл}$, *мксек*	Емкость, *пф*
Д227А	10—20	5	15	10	0,5	0,2	2	0,5	10	100
Д227Б	14—28									
Д227В	20—40									
Д227Г	28—56									
Д227Д	40—80									
Д227Е	56—112									
Д227Ж	80—160									
Д227И	100—200									
Д228А	10—20	1	15	—	0,5	0,05	2	0,1	5	80
Д228Б	14—28									
Д228В	20—40									
Д228Г	28—56									
Д228Д	40—80									
Д228Е	56—112									
Д228Ж	80—160									
Д228И	100—200									
КН102А	20	—	15	—	0,5	0,2	10	—	40	—
КН102Б	28									
КН102В	40									
КН102Г	60									
КН102Д	80									
КН102Е	120									

Таблица 10

Кремниевые переключающие управляемые диоды

Тип	Напряжение переключения $U_{пер}$, *в*	Ток выключения $I_{выкл}$, *ма*	Остаточное напряжение $U_{ост}$, *в*	Максимальное прямое напряжение $U_{пр.макс}$, *в*	Максимальное обратное напряжение $U_{обр.макс}$, *в*	Максимальный постоянный ток $I_{п}$, *ма*	Максимальный импульсный ток $I_{имп}$, *а*	Время включения $\tau_{вкл}$, *мксек*	Время выключения $\tau_{вык}$, *мксек*
КУ101А	0,3—10	0,5—25	2,5	50	10	75	1,0	2	35
КУ101Г	0,3—10	0,5—25	2,5	80	80	75	1,0	2	35
КУ201А	7,0	100	7,0	25	—	2 000	10	10	35
КУ201Н	7,0	100	7,0	200	200	2 000	10	10	35
КУ202А	5,0	300	2,0	25	—	$10 \cdot 10^3$	30	—	150
КУ202Н	5,0	300	2,0	300	300	$10 \cdot 10^3$	30	10	150
Д235А	40	100	2,0	—	—	2 000	30	5	25
Д235Б	100	100	2,0	—	—	2 000	30	5	25
Д238Д	50	—	2,0	—	—	$10 \cdot 10^3$	—	10	35
Д238В	150	—	2,0	—	—	$10 \cdot 10^3$	—	10	35

г) коэффициент усиления транзистора по току $B_{\text{ст}}$, определяемый отношением тока коллектора к току базы при постоянном напряжении на коллекторе;

д) сопротивление коллектора $R_{\text{к}}$, определяемое отношением изменения напряжения между базой и коллектором к изменению тока коллектора при постоянном токе базы;

е) сопротивление эмиттера $R_{\text{э}}$, определяемое отношением изменения напряжения между базой и эмиттером к изменению тока коллектора при постоянном токе базы;

ж) сопротивление базы $R_{\text{б}}$, определяемое отношением изменения напряжения коллектора к изменению тока коллектора при постоянном токе эмиттера;

з) обратный ток коллектора $I_{\text{к.о}}$— ток, возникающий за счет диффузии неосновных носителей с коллектора в базу.

Существуют три основные схемы включения транзисторов (рис. 5): с общей базой: с общим эмиттером; с общим коллектором.

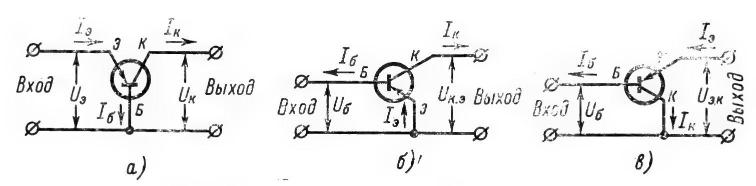


Рис. 5. Схемы включения транзисторов.

а — с общей базой; *б* — с общим эмиттером; *в* — с общим коллектором.

Наибольшее распространение получили две первые схемы включения. Сравнительные характеристики схем включения транзистора с общим эмиттером и с общей базой следующие:

а) схема с общей базой обладает большей стабильностью, более высоким выходным и более низким входными сопротивлениями, большей длительностью отпирания транзистора;

б) схема с общим эмиттером характеризуется меньшим временем отпирания транзистора;

в) для отпирания транзистора в схеме с общей базой на ее вход следует подать положительный потенциал, на выходе схемы при этом будет положительный перепад напряжения (от уровня $U_{\text{к}}=-E_{\text{к}}$ до $U_{\text{к}}=0$);

г) для отпирания транзистора в схеме с общим эмиттером на вход требуется подать отрицательное напряжение, на выходе схемы при этом получается положительный перепад напряжения.

В устройствах цифровой техники находят применение обе схемы включения транзисторов, причем в основном применяется схема с общим эмиттером.

Схема с общим коллектором характеризуется коэффициентом усиления по напряжению, меньшим единицы, т. е. сигнал в цепи эмиттера повторяет входной сигнал, поэтому эта схема часто носит название эмиттерного повторителя. Основной особенностью данной схемы является то, что изменения режима по эмиттеру и коллектору мало влияют на характер изменения выходного сигнала.

Сравнительные характеристики схем включения транзисторов приведены в табл. 11, а их основные параметры в табл. 12.

Таблица 11

Сравнительные характеристики схем включения транзисторов

Характеристика схемы	Схема включения		
	с общей базой	с общим эмиттером	с общим коллектором
Входное сопротивление	Малое (30—100 *ом*)	Среднее (400—2 000 *ом*)	Большое (5—20 *ком*)
Выходное сопротивление	Большое (0,2—1 *Мом*)	Среднее (25—100 *ком*)	Малое (30—1 000 *ом*)
Усиление по току	Отсутств. (около 1)	10—100	10—100
Усиление по напряжению	До 1 000—5 000	До 1 000—5 000	Около 1
Усиление по мощности при согласовании	Среднее (30 *дб*)	Большое (40 *дб*)	Малое (15 *дб*)
Усиление по мощности в усилителях на сопротивлениях	Отсутствует	Большое (25 *дб* на каскад)	Малое (до 30 *дб* на несколько каскадов)

Примечание. Указанные значения соответствуют усилителям, работающим при уровне выходной мощности, не превышающей единиц милливатт.

Таблица 12

Параметры транзисторов, применяемых в цифровой технике

Тип транзистора	F_{α}, *Мгц*	$B_{ст}$	$I_{э.макс}$, *ма*	$I_{к.макс}$, *ма*	$U_{к.макс}$, *в*	$I_{к.имп}$, *ма*	$U_{б.макс}$, *в*	$\tau_{перекл}$, *мксек*	$\frac{P_{макс}}{P_{имп}}$, *мвт*
МП16	1	25—35	50	50	15	300	1,5	2,0	200
МП16Б	2	45—100	50	50	15	300	0,4	1,0	200
МП26	0,2	10—25	1,5	400	70	400	0,3	1,5	200
МП26Б	0,5	30—80	1,5	400	70	400	0,3	1,5	200
МП25	0,5	10—50	2,2	400	40	400	0,3	1,5	200
МП25Б	0,5	30—80	2,5	400	40	400	0,3	1,5	200
1Т308Б	120	50—120	10	50	20	120	3	1,0	150
МП111Б	0,5	15—45	20	20	20	100	5	—	150
П308	10	16—50	30	30	120	120	3	—	250
П416	40	25—80	10	25	20	120	3	1	$\frac{100}{360}$
П416Б	80	90—200	10	25	20	120	3	1	$\frac{100}{360}$
П403	120	32—100	10	20	10	—	10	—	100
П408	10	20—30	30	30	30	—	0,3	—	30
П409	20	20—30	30	30	30	—	0,3	—	30
П212	1	30—50	—	—	70	—	0,3	—	750
П605	10	20—60	300	1 000	40	1 500	2	3	$\frac{300}{500}$
2Т301Г	60	10—35	10	—	10	—	—	5	150

Примечание. Для транзисторов МП26 и МП26Б при температуре окружающей среды до +50° С и рассеиваемой мощности не более 100 *мвт* допустимое напряжение $U_{к}$=100 *в*.

Электромагнитные реле. В устройствах цифровой техники часто применяются электромагнитные реле, размеры и вес которых зависят от типа реле, числа контактных групп, мощности, коммутируемой контактами реле, конструкции магнитопровода, степени герметизации и ряда других факторов (рис. 6).

В приборах и средствах автоматики во многих случаях используются реле типа РКН. Эти реле обеспечивают нормальную работу устройств при температуре окружающей среды от —40 до +80° С, относительной влажности 95% при температуре +20° С. Сопротив-

ление изоляции обмотки и контактов реле по отношению к корпусу и между собой в нормальных условиях составляет более 500 *Мом*.

В электронных схемах с применением полупроводниковых приборов находят применение миниатюрные и сверхминиатюрные электромагнитные реле постоянного тока типов РЭС-22, РЭС-9, РЭС-10, РЭС-15 и др.

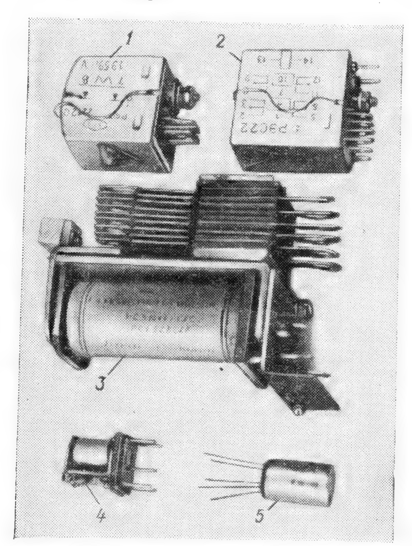


Рис. 6. Электромагнитные реле.

1 — РЭС-6; *2* — РЭС-22; *3* — РКН; *4* — РЭС-10; *5* — РЭС-15.

Реле типов РЭС-10 и РЭС-15 обеспечивают нормальную работу устройств при температуре окружающего воздуха от —60 до +100° С, относительной влажности воздуха 98% при температуре +40° С.

Важнейшими параметрами электромагнитных реле являются:

а) *ток (напряжение) отпускания* — это такое значение тока (напряжения) в обмотке, при котором размыкаются замкнутые контакты. Ток отпускания всегда меньше тока срабатывания;

б) *номинальный ток* (напряжение) — величина тока (напряжения) в обмотке реле. рекомендуемая для типовых применений данного реле;

в) *время срабатывания* — интервал времени от момента подключения к обмотке реле источника тока до момента размыкания нормально замкнутых контактов;

г) *время отпускания* — интервал времени от момента выключения тока через обмотку до размыкания его контактов;

г) *время отпускания* — интервал времени от момента выключения тока через обмотку до размыкания его контактов;

д) *мощность* (ток, напряжение), коммутируемая контактами, — это такая мощность нагрузки, подключенной к контактам, при которой контакты заметно не обгорают в течение заданного срока службы оговоренного для данного типа реле;

е) *срок службы* — число срабатываний реле, при котором реле надежно выполняет свои функции и сохраняет заданные параметры (коммутируемую контактами мощность, величину тока или напряжения срабатывания и т. д.).

Ток (или напряжение) срабатывания и отпускания реле можно в несколько раз изменить путем механической регулировки его или путем перемотки обмотки.

Параметры электромагнитных реле, применяемых в устройствах автоматики и цифровой техники, приведены в табл. 13 и 14.

Таблица 13

Параметры электромагнитных реле типа РКН

$R_{обм}$, *ом*	Число витков	Диаметр провода, *мм*	Марка провода	Ток, *ма*		Время переключения	
				срабатывания	отпускания	срабатывания, *мксек*	отпускания, *мксек*
600	12 300	0,15	ПЭЛ	16,5	3,0	30	5,0
600	12 300	0,15	ПЭЛ	25,0	4,0	60	2,0
600	12 300	0,15	ПЭЛ	18,0	2,0	40	5,0
600	12 300	0,15	ПЭЛ	34,0	7,5	70	5,0
90	5 000	0,25	ПЭЛ	330	—	—	—
300	6 750	0,16	ПЭЛ	26,0	2,0	50	90

Таблица 14

Параметры электромагнитных реле типа РЭС

$R_{обм}$, *ом*	Число витков	Ток срабатывания, *ма*	Ток отпускания, *ма*	Рабочее напряжение, *в*	Время срабатывания, *мксек*
560	4 600	30	5	23—32	11
9 600	21 000	7	1,1	—	—
3 400	13 000	11	1,7	—	—
4 500	11 000	6	—	—	8
4 500	11 000	8	—	—	8
2 000	6 000	8,5	2	—	—
330	2 400	21	5	—	—
720	3 900	14,5	3,5	—	—
2 800	11 500	11	2	60	15
175	3 400	36	8	12	15
650	6 200	20	4	24	15

5. Схемы функциональных узлов

Разнообразные устройства цифровой техники обычно проектируются из небольшого количества схем, объединенных в одну конструкцию. Рассматриваемые ниже схемы могут быть использованы как в качестве самостоятельных устройств, так и в качестве составных элементов и узлов сложных счетно-решающих устройств и блоков автоматического контроля или измерения. Для приведенных ниже схем указываются конкретные данные как по параметрам, так и по электрическим режимам.

Принципы работы рассматриваемых схем достаточно полно освещены в соответствующей литературе [Л. 4, 5, 20, 23].

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Мультивибратор, изображенный на рис. 7, предназначен для генерирования прямоугольных импульсов и имеет следующие характеристики (при активной нагрузке 50 *ком* и емкостной 50 *пф*):

Амплитуда импульсов, не менее	70 *в*
Максимальная частота повторения импульсов	12,5 *кгц*
Длительность фронта импульсов, не более	2 *мксек*
Длительность спада импульсов, не более .	0,5 *мксек*

Мультивибратор на транзисторах (рис. 8) генерирует колебания прямоугольной формы в диапазоне частот от 100 до 160 *кгц*. Он собран на транзисторах типа МП16Б и имеет характеристики:

Амплитуда импульсов на выходе, не менее	7 *в*
Длительность фронта импульсов	1,5 *мксек*
Активная нагрузка	10 *ком*
Емкостная нагрузка	200 *пф*

Ждущий мультивибратор, собранный по схеме с катодной связью на двойном триоде 6Н16Б (рис. 9), предназначен для формиро-

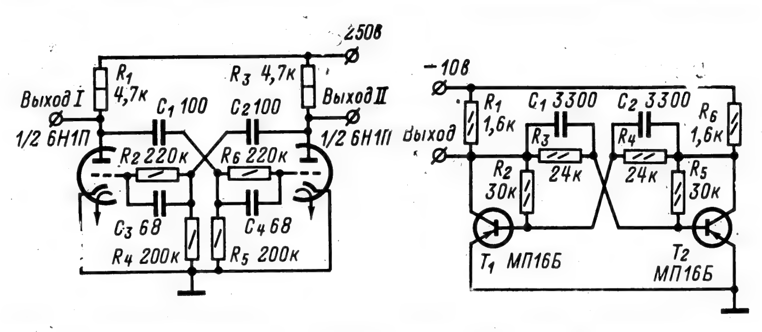


Рис. 7. Мультивибратор на лампе 6Н1П.

Рис. 8. Мультивибратор на транзисторах типа МП16Б.

вания импульсов положительной и отрицательной полярности частотой 30 *кгц* и имеет следующие параметры при активной нагрузке 100 *ком* (*Выход* I), 150 *ком* (*Выход* II) и емкостной нагрузке 50 *пф*.

Выходные импульсы:

Амплитуда положительных импульсов . .	60 *в*
Амплитуда отрицательных импульсов . . .	50 *в*
Длительность фронта и спада положительных импульсов, не более	2 *мксек*
Длительность фронта и спада отрицательных импульсов	3 *мксек*

Входные импульсы:

Амплитуда положительных импульсов . .	20—60 *в*
Амплитуда отрицательных импульсов . . .	40—100 *в*
Минимальная длительность	0,3 *мксек*

Ждущий мультивибратор, схема которого приведена на рис. 10, собран на двух транзисторах типа П16Б и П403 по схеме с коллекторно-базовыми связями. Он формирует импульсы отрицательной полярности частотой 20 *кгц* и длительностью от 10 до 40 *мксек*.

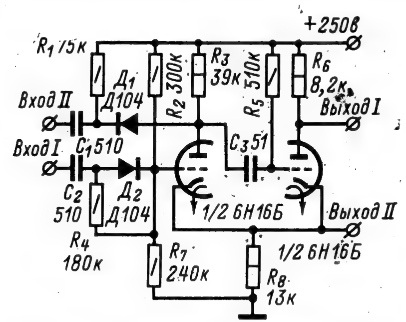


Рис. 9. Ждущий мультивибратор на лампе 6Н16Б.

Запуск мультивибратора осуществляется импульсами отрицательной полярности (через *Вход* I) и импульсами положительной полярности (через *Вход* II).

При активной нагрузке 10 *ком* и емкостной нагрузке 200 *пф* мультивибратор имеет следующие характеристики.

Выходные импульсы:

Амплитуда импульсов, не более	7 *в*
Длительность фронта и спада	1,5 *мксек*

Входные импульсы:

Минимальная амплитуда положительных импульсов	3—1,5 *в*
Минимальная амплитуда отрицательных импульсов	2,5—1,5 *в*
Длительность импульсов, не менее	0,3 *мксек*

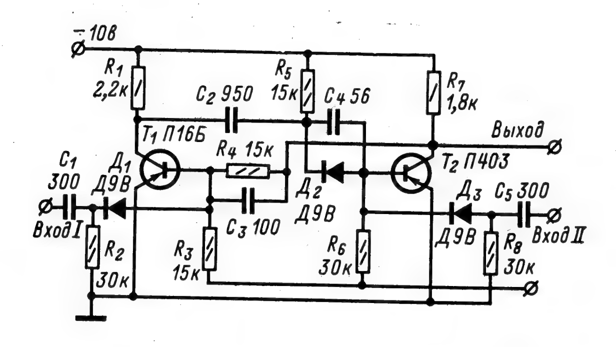


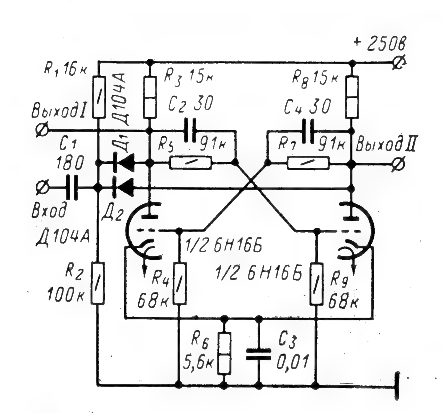
Рис. 10. Ждущий мультивибратор на транзисторах.

Выходные импульсы (рис. 11):

Амплитуда импульсов при напряжении анода +250 *в*	80 *в*
При напряжении анода +150 *в*	50 *в*
Длительность положительного перепада напряжения, не более	2,5 *мксек*
Длительность отрицательного перепада напряжения, не более	0,5 *мксек*

Входные импульсы:

Максимальная частота следования	250 *кгц*
Минимальная амплитуда импульсов . . .	35 *в*
Максимальная амплитуда импульсов . . .	130 *в*
Длительность импульсов, не менее	0,4 *мксек*
Длительность фронта импульсов	0 2 *мксек*



Низкочастотный триггер (рис. 11) собран на лампе 6Н16Б и состоит из двух усилительных каскадов с положительными анодно-сеточными связями. Он запускается импульсами отрицательной полярности через диоды Д104А и имеет следующие характеристики при активной нагрузке 70 *ком* и емкостной нагрузке 50 *пф*.

Рис. 11. Низкочастотный триггер на лампе 6Н16Б.

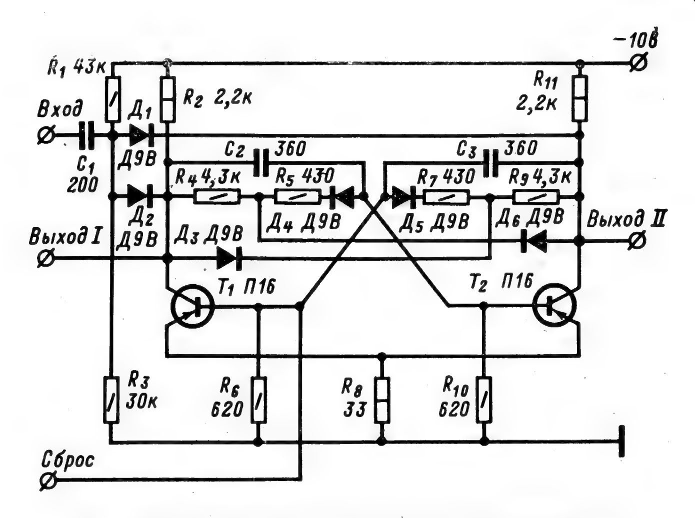


Рис. 12. Низкочастотный триггер на транзисторах.

Низкочастотный триггер на транзисторах (рис. 12) с коллекторно-базовыми связями имеет следующие характеристики при активной нагрузке 5 *ком* и емкостной 50 *пф*.

Выходные импульсы:

Амплитуда импульсов, не менее	5 *в*
Длительность положительного перепада напряжения, не более	0,4 *мксек*
Длительность отрицательного перепада напряжения, не более	1,5 »

Входные импульсы:

Максимальная частота следования	30 *кгц*
Минимальная амплитуда импульсов . . .	2,5 *в*
Длительность фронта импульсов	0,3 *мксек*

Схема триггера, приведенная на рис. 13, срабатывает от импульсов с частотой следования до 1 *Мгц*. При активной нагрузке 70 *ком* и емкостной 50 *пф* характеристики триггера следующие.

Выходные импульсы (*Выход I, III*):

При напряжении анода +250 *в* амплитуда, не менее	80 *в*
При напряжении анода +150 *в* амплитуда, не менее	50 *в*
Длительность положительного перепада напряжения, не более	2,5 *мксек*
Длительность отрицательного перепада напряжения, не более	0,8 *мксек*

Входные импульсы (*Вход I*):

Максимальная частота следования	250 *кгц*
Минимальная амплитуда	25 *в*
Максимальная амплитуда	60 *в*
Длительность импульсов, не менее	0,4 *мксек*
Длительность фронта, не более	0,2 *мксек*

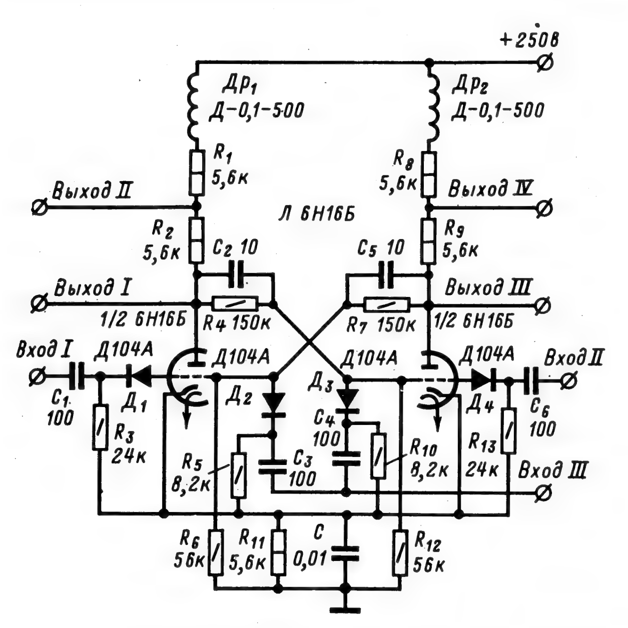


Рис. 13. Высокочастотный триггер на лампе 6Н16Б.

Выходные импульсы (*Выход II, IV*):

При напряжении анода +250 *в* амплитуда, не менее	50 *в*
При напряжении анода +150 *в* амплитуда, не менее	30 *в*
Длительность положительного перепада, не более	1,2 *мксек*
Длительность отрицательного перепада, не более	0,8 *мксек*

Входные импульсы (*Вход III*):

Максимальная частота следования	1 000 *кгц*
Минимальная амплитуда	25 *в*
Максимальная амплитуда	60 *в*
Длительность фронта, не более	0,4 *мксек*
Длительность фронта, не более	0,2 *мксек*

Высокочастотный триггер на транзисторах приведен на рис. 14. Он собран на транзисторах типа П403 и имеет следующие характеристики при сопротивлении нагрузки 5 *ком* и емкостной нагрузке 50 *пф*.

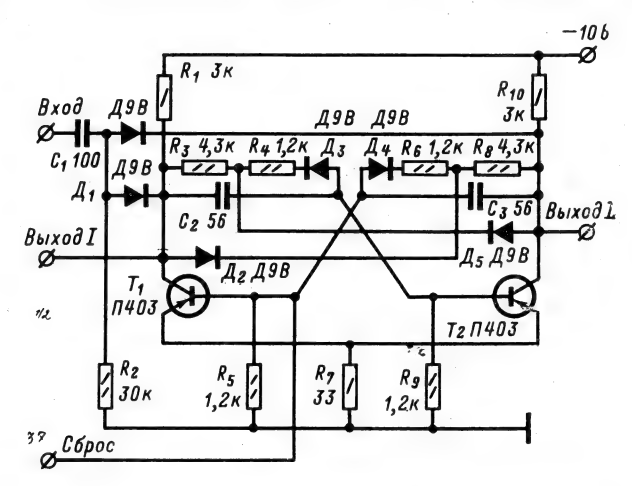


Рис. 14. Высокочастотный триггер на транзисторах типа П403.

Выходные импульсы:

Амплитуда импульсов, не менее	6 *в*
Длительность положительного перепада напряжения	0,1 *мксек*
Длительность отрицательного перепада напряжения	0,3 *мксек*

Входные импульсы:

Максимальная частота следования	1,5 *Мгц*
Минимальная амплитуда импульсов . . .	3—2 *в*
Максимальная амплитуда импульсов . . .	10 *в*
Длительность фронта импульсов, не более .	0,3 *мксек*

Запуск триггера осуществляется импульсами положительной полярности.

Автоколебательный блокинг-генератор с катодным повторителем, собранный на лампе 6Н16Б (рис. 15), предназначен для генерирования импульсов положительной и отрицательной полярности частотой 100 *кгц* в режимах автоколебаний и синхронизации, а также для формирования импульсов положительной полярности длительностью от 0,4 до 250 *мксек*. На левой половине лампы собран катодный повторитель, который может работать и отдельно. На правой половине лампы собран блокинг-генератор с анодно-сеточной связью. При номиналах элементов, указанных в схеме, блокинг-генератор генерирует частоту 100 *кгц* при длительности импульса 0,6 *мксек*, дли-

тельности фронта и спада 0,4 *мксек*, амплитуде входных импульсов 60 *в* и амплитуде выходных импульсов (*Выход* I, II) 15 *в*.

Типовой блокинг-генератор на транзисторе типа П16Б (рис. 16) предназначен для генерирования импульсов положительной и отри-

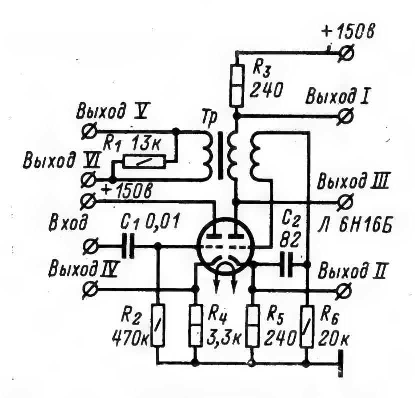


Рис. 15. Автоколебательный блокинг-генератор с катодным повторителем на лампе 6Н16Б.

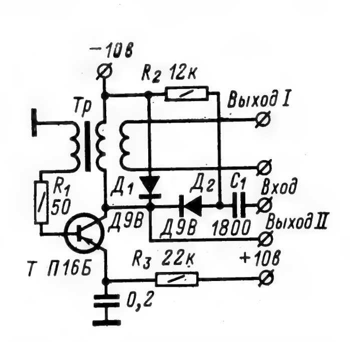


Рис. 16. Автоколебательный блокинг-генератор на транзисторе.

цательной полярности в режимах автоколебаний и синхронизации в диапазоне частот от 160 *гц* до 10 *кгц*. При номиналах элементов, указанных на схеме, генератор работает на частоте 1 000 *гц* при амплитуде выходного импульса (*Выход* I) 2,4 *в*:

Длительность импульсов	10 *мксек*
Длительность фронта импульсов	0,6 *мксек*
Длительность спада импульсов	0,5 *мксек*
Амплитуда импульсов на выходе II . . .	8,0 *в*

Питание блокинг-генератора осуществляется от источника постоянного тока напряжением 10 *в*.

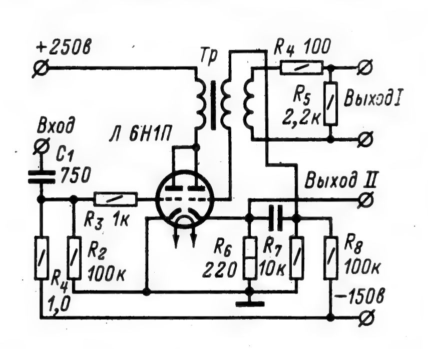


Рис. 17. Ждущий блокинг-генератор на лампе 6Н1П.

Режим синхронизации осуществляется подачей импульсов положительной полярности с амплитудой не менее 6 *в* и длительностью порядка 0,5 *мксек*.

Ждущий блокинг-генератор, схема которого приведена на рис. 17, предназначен для формирования прямоугольных импульсов положительной и отрицательной полярности длительностью от 0,25 до 12,5 *мксек* при частоте следования до 10 *кгц*. Запуск блокинг-генератора производится импульсами поло-

жительной полярности. Электрические характеристики блокинг-генератора, измеренные на *Выходе* I — при активной нагрузке 1 *ком* и емкостной 50 *пф* и на *Выходе* II — при активной нагрузке 150 *ом*, таковы:

Выход I:

Амплитуда импульсов, не менее	70 *в*
Длительность фронта импульсов	0,2 *мксек*
Длительность спада импульсов	0,4 *мксек*

Выход II:

Амплитуда импульсов, не менее	40 *в*
Длительность фронта импульсов	0,15 *мксек*

Вход:

Амплитуда импульсов	25 *в*
Длительность импульсов	0,2 *мксек*
Частота следования импульсов	3,3 *кгц*

Ждущий блокинг-генератор, собранный на транзисторах типа П403 (рис. 18), предназначен для формирования прямоугольных им-

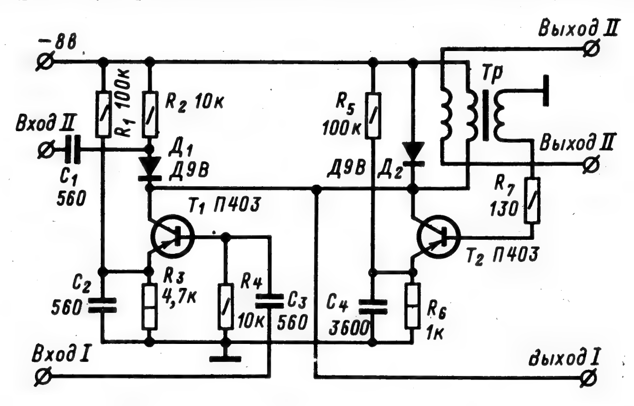


Рис. 18. Ждущий блокинг-генератор на транзисторах.

пульсов длительностью от 0,25 до 10 *мксек*. На транзисторе T_1 собран усилитель запускающих импульсов, а на транзисторе T_2 — собственно ждущий блокинг-генератор.

Импульсы отрицательной полярности подаются на *Вход* I, а импульсы положительной полярности — на *Вход* II. Выходные импульсы снимаются с коллектора транзистора T_2.

Электрические характеристики данного блокинг-генератора таковы.

Вход I:

Минимальная амплитуда импульсов . . .	2,1 *в*
Длительность импульсов, не менее	0,3 *мксек*

Вход II:

Минимальная амплитуда импульсов . . .	3—1,5 *в*
Длительность импульсов, не менее	0,3 *мксек*

Выходы I и II:

Амплитуда импульсов, не менее	5 *в*
Длительность фронта и спада импульсов .	0,15 *мксек*

Параметры блокинг-генератора измерены при активной нагрузке 500 *ом* и емкостной 200 *пф* на выходной обмотке импульсного трансформатора и при активной нагрузке 10 *ком* на коллекторе транзистора T_2.

Смесители видеоимпульсов на два входа предназначены для работы в логических схемах счетно-решающих устройств. На рис. 19, *а* показана схема для отрицательных входных импульсов, а на рис. 19, *б* — для положительных импульсов.

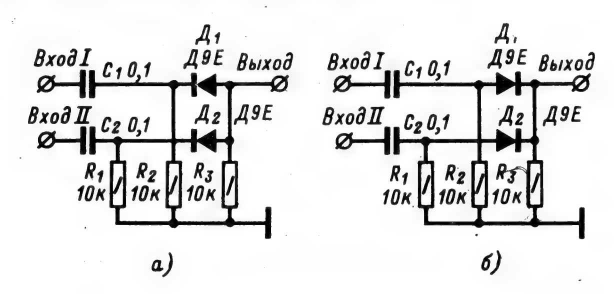


Рис. 19. Смесители видеоимпульсов.

а — для отрицательных импульсов; *б* — для положительных импульсов.

Приведенные схемы смесителей имеют следующие характеристики:

Максимальная амплитуда входных сигналов	25 *в*
Длительность импульсов, не менее	0,5 *мксек*
Длительность фронта импульсов, не более .	0,1 *мксек*
Длительность спада импульсов, не более .	0,1 *мксек*
Коэффициент передачи, не менее	0,95
Время восстановления схемы	1,0 *мксек*

Диодно-транзисторные схемы смесителей на два входа для отрицательных и положительных импульсов показаны на рис. 20. Входной сигнал, поступая на один из диодов, проходит через него, запирает остальные диоды и поступает на эмиттерный повторитель. При поступлении сигналов на второй диод на суммирующем резисторе происходит смешение сигналов в один результирующий, который и поступает на вход эмиттерного повторителя. Выходной сигнал снимается с нагрузки, включенной в цепь эмиттера.

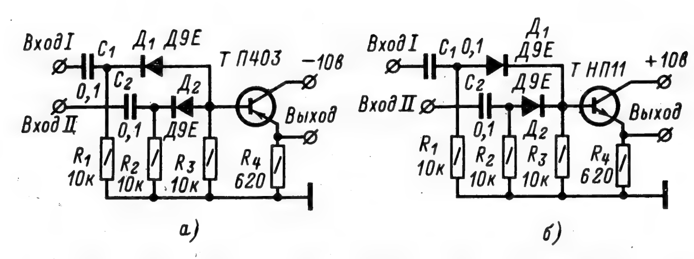


Рис. 20. Диодно-транзисторные схемы смесителей.
а — для отрицательных импульсов, *б* — для положительных импульсов.

Электрические характеристики указанных смесителей при активной нагрузке на выходе 500 *ом* и емкостной 200 *пф* следующие:

Максимальная амплитуда импульсов на входе	6 *в*
Длительность импульсов, не менее . . .	0,5 *мксек*
Длительность фронта импульсов на выходе, не более	0,2 *мксек*
Длительность спада импульсов на выходе, не более	0,5 *мксек*
Коэффициент передачи	0,8

Схема совпадений, собранная на лампе 6Ж2Б, показана на рис. 21. Запуск схемы осуществляется подачей импульсов на управляющую и антидинатронную сетки. При одновременном появлении

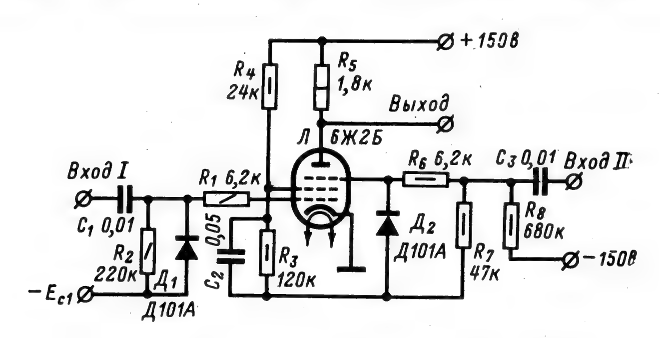


Рис. 21. Схема совпадений на лампе 6Ж2Б.

на I и II входах положительных импульсов лампа отпирается и на выходе появляется импульс совпадения отрицательной полярности.

Схема имеет следующие характеристики:

Амплитуда входных импульсов на первой сетке	4—80 *в*
Амплитуда входных импульсов на третьей сетке	10—80 *в*

Длительность импульса на первой и третьей сетках	0,4—10 *мксек*
Входное сопротивление	3 *ком*
Амплитуда выходных импульсов	20 *в*
Минимальное разрешающее время	0,1 *мксек*
Максимальное уменьшение выходного напряжения при селектировании во времени	10%

Принципиальные схемы диодно-транзисторных схем совпадений для положительных и отрицательных импульсов на два входа показаны на рис. 22. Процесс совпадения осуществляется в диодной части. Транзисторная часть схемы используется для усиления по мощности и развязки между входными и выходными цепями. При отсутствии входных сигналов потенциал на выходе диодной части практически равен нулю. При одновременной подаче сигналов на все входы на выходе диодной части появляется импульс совпадения. Если амплитуды всех сигналов одинаковы, то селекторный импульс имеет ту же амплитуду, что и входные сигналы. Если импульсы имеют разные амплитуды, то величина выходного сигнала определяется меньшей из них.

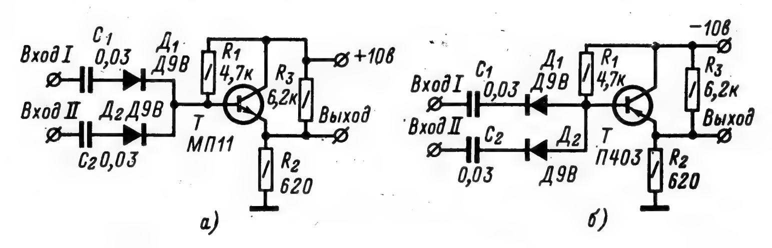


Рис. 22. Диодно-транзисторные схемы совпадений.
а — для положительных импульсов; *б* — для отрицательных импульсов.

Схемы имеют следующие характеристики:

Амплитуда входных импульсов, не более .	6 *в*
Длительность входных импульсов:	
для схемы (рис. 22, *а*)	3 *мксек*
для схемы (рис. 22, *б*)	0,5 *мксек*
Ухудшение длительности фронта выходного импульса:	
для схемы (рис. 22, *а*)	0,2 *мксек*
для схемы (рис. 22, *б*)	0,1 *мксек*
Ухудшение длительности спада выходного импульса:	
для схемы (рис. 22, *а*)	0,40 *мксек*
для схемы (рис. 22, *б*)	0,15 *мксек*
Минимальное разрешающее время:	
для схемы (рис. 22, *а*)	0,35 *мксек*
для схемы (рис. 22, *б*)	0,20 *мксек*

Коэффициент передачи напряжения при совпадении, не менее 0,8

Транзисторные схемы совпадений приведены на рис. 23, *а* и *б*. Они предназначены для временной селекции двух однополярных импульсов. Достоинством транзисторных схем является то, что они, помимо селектирования, усиливают входные сигналы. Недостатком

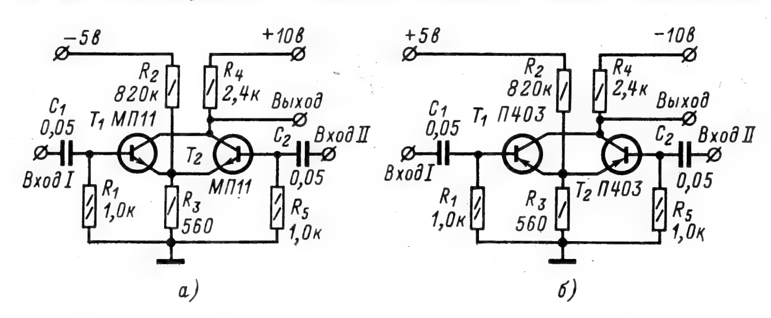


Рис. 23. Схемы совпадений на транзисторах.

а — для положительных импульсов; *б* — для отрицательных импульсов.

схем совпадений на транзисторах является малое входное сопротивление каждого входа. Поэтому необходимо входные импульсы подавать через эмиттерные повторители.

Рассмотренные схемы имеют следующие электрические характеристики:

Минимальная амплитуда входных импульсов . . . . 6 *в*

Длительность входных импульсов:
- для схемы (рис. 23, *а*) . . . . 2,0 *мксек*
- для схемы (рис. 23, *б*) . . . . 0,5 *мксек*

Ухудшение длительности фронта выходного импульса:
- для схемы (рис. 23, *а*) . . . . 0,4 *мксек*
- для схемы (рис. 23, *б*) . . . . 0,1 *мксек*

Ухудшение длительности спада выходного импульса:
- для схемы (рис. 23, *а*) . . . . 0,75 *мксек*
- для схемы (рис. 23, *б*) . . . . 0,15 *мксек*

Минимальное разрешающее время:
- для схемы (рис. 23, *а*) . . . . 0,6 *мксек*
- для схемы (рис. 23, *б*) . . . . 0,2 *мксек*

Амплитуда выходных импульсов, не более 9 *в*

Амплитуда ложного сигнала:
- для схемы (рис. 23, *а*) . . . . 0,15 *в*
- для схемы (рис. 23, *б*) . . . . 0,1 *в*

Сопротивление каждого входа схем . . . 100 *ом*

Катодные повторители предназначены для согласования высокоомной и низкоомной нагрузок импульсных устройств, работающих в диапазоне от 0,4 до 2 000 *мксек*. Принципиальная схема катодного повторителя для положительных импульсов приведена на рис. 24, *а*.

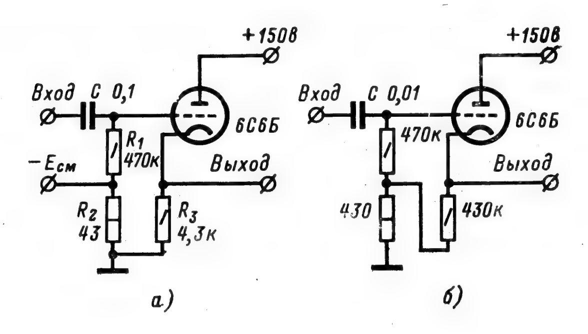


Рис. 24. Катодные повторители.

а — для положительных импульсов; *б* — для отрицательных импульсов.

Повторитель собран на лампе 6С6Б и имеет следующие параметры при номиналах элементов, указанных на схеме:

Максимальная амплитуда входных импульсов	40 *в*
Коэффициент передачи напряжения . . .	0,8
Полоса пропускания при емкостной нагрузке 50 *пф*	3,0 *мгц*
Выходное сопротивление, не более . . .	200 *ом*

Эмиттерный повторитель, схема которого приведена на рис. 25, предназначен для передачи положительных и отрицательных импуль-

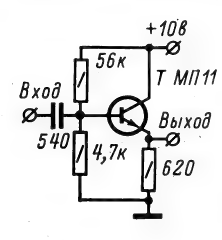


Рис. 25. Эмиттерный повторитель для передачи положительных и отрицательных импульсов.

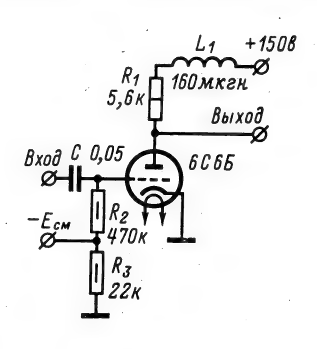


Рис. 26. Видеоусилитель на лампе 6С6Б.

сов длительностью от 0,25 до 2 500 *мксек*. Повторитель собран на транзисторе типа МП11 и имеет следующие характеристики:

Максимальная амплитуда импульсов на выходе	6,0 *в*
Выходное сопротивление	100 *ом*
Коэффициент передачи, не менее	0,8
Длительность фронта импульсов	0,15 *мксек*
Длительность спада импульсов	0,15 *мксек*

Ламповый однокаскадный видеоусилитель (рис. 26) предназначен для усиления напряжения видеоимпульсов положительной и отрицательной полярности длительностью от 0,4 до 2 000 *мксек*. При

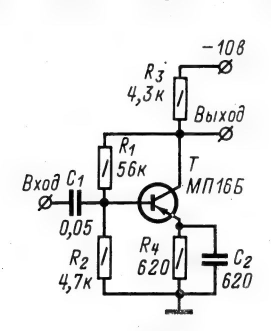


Рис. 27. Видеоусилитель на транзисторе.

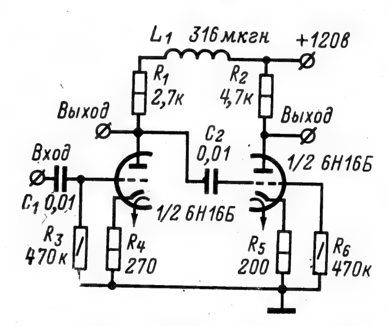


Рис. 28. Двухкаскадный видеоусилитель на лампе 6Н16Б.

подаче на вход видеоусилителя импульса положительной (или отрицательной) полярности с выхода снимается импульс противоположной полярности.

Электрические характеристики усилителя при активной нагрузке 51 *ком* и емкостной 12 *пф* следующие:

Анодное напряжение	150 *в*
Напряжение смещения:	
для положительных импульсов . . .	5 *в*
для отрицательных импульсов	0 *в*
Полоса пропускания	4 *мгц*
Коэффициент усиления:	
импульсов положительной полярности ($U_{вх}$=5 *в*)	16
импульсов отрицательной полярности при ($U_{вх}$=3 *в*)	19

Однокаскадный видеоусилитель на транзисторах (рис. 27) предназначен для усиления положительных и отрицательных напряжений.

Длительность усиливаемых сигналов для схемы, собранной на транзисторах типа П16Б, более 5 *мксек*, для схем, собранных на транзисторах типа П403—П416, — более 10 *мксек*.

Характеристики усилителя следующие:

Полоса пропускания	0,8 *мгц*
Длительность импульсов	2—10 *мксек*
Максимальная амплитуда выходных сигналов	1,8 *в*
Коэффициент усиления, не менее	3
Нелинейность амплитудной характеристики, не более	10%

Двухкаскадный видеоусилитель (рис. 28) предназначен для усиления напряжения видеосигналов положительной и отрицательной полярности длительностью от 0,4 до 250 *мксек*. Усилитель собран на лампе 6Н16Б и имеет характеристики:

Полоса пропускания	1,7—2,3 *мгц*
Коэффициент усиления:	
импульсов положительной полярности	30—40
импульсов отрицательной полярности .	38—52
Коэффициент нелинейных искажений, не более	15%
Номинальное значение активной нагрузки .	51 *ком*
Номинальное значение емкостной нагрузки	15 *пф*

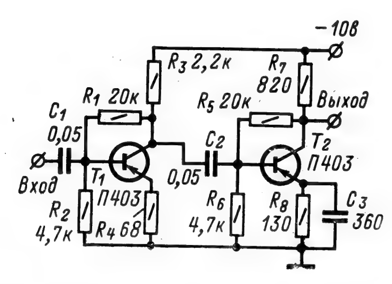


Рис. 29. Двухкаскадный видеоусилитель на транзисторах.

Двухкаскадный видеоусилитель (рис. 29), собранный на транзисторах типа П403, предназначен для усиления напряжения видеоимпульсов отрицательной и положительной полярности длительностью от 0,25 до 10 *мксек*. При подаче на вход усилителя импульса положительной (или отрицательной) полярности с выхода снимается усиленный сигнал той же полярности.

Характеристики усилителя следующие:

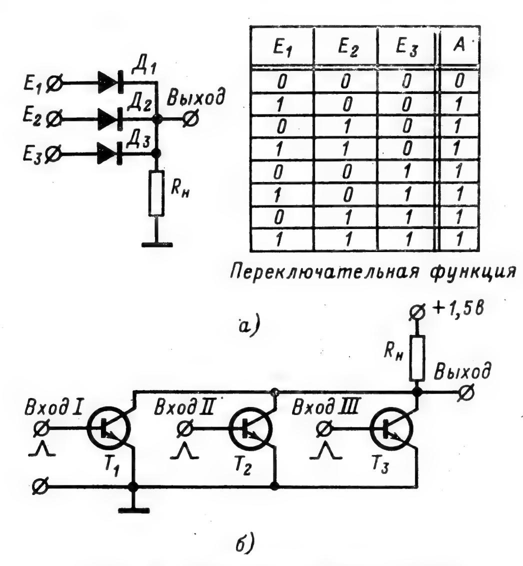
Коэффициент усиления положительных импульсов	50
Коэффициент усиления отрицательных импульсов	45
Полоса пропускания	8 *мгц*
Неравномерность частотной характеристики	3 *дб*
Нелинейность амплитудной характеристики, не более	10%

6. Логические схемы

Определенная зависимость между входными и выходными сигналами в устройствах цифровой техники осуществляется с помощью логических элементов.

Логические элементы с небольшой частотой переключения могут быть выполнены в виде электромагнитных реле. Значительно большее быстродействие и более высокую надежность имеют логические элементы, выполненные на электронных лампах, полупроводниковых приборах и ферритах.

В настоящее время созданы стандартные элементы, выполняющие определенные логические операции и выполненные в виде микромодулей.



E_1	E_2	E_3	A
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

Переключательная функция

а)

б)

Рис. 30. Логические схемы ИЛИ.

а — на диодах; *б* — на транзисторах.

Большинство схем цифровой техники строится на логических элементах *И*, *ИЛИ*, *НЕ*, поэтому более подробно остановимся на построении именно этих элементов.

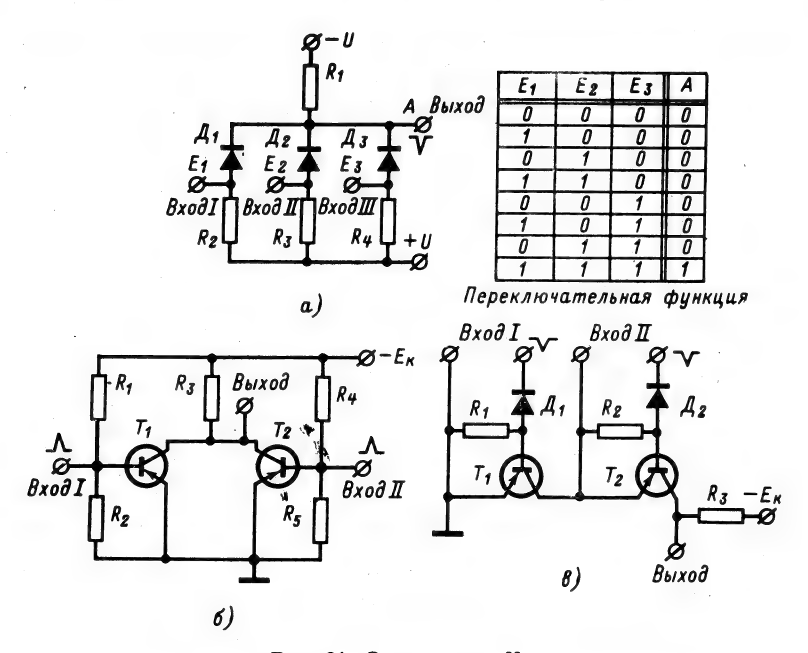
По построению и принципу работы наиболее простыми являются логические схемы *ИЛИ*, которые имеют два или несколько входов и один выход.

Схема *ИЛИ* на диодах показана на рис. 30, *а*. Когда на *Вход* I подается отрицательный импульс, диод $Д_1$ отпирается и на выходе появляется импульс той же полярности. Остальные диоды при этом находятся в запертом состоянии. При одновременном поступлении на вход схемы нескольких сигналов с одинаковыми амплитудами на выходе схемы появляется импульс, амплитуда которого равна амплитуде входных импульсов. При неравных амплитудах входных импульсов амплитуда импульса на выходе будет равна наибольшей из них.

Логическая схема *ИЛИ* может быть построена и на транзисторах (рис. 30, *б*). Вначале напряжение на базах поддерживается на уровне, обеспечивающем работу транзисторов в области отсечки. По-

ложительный сигнал величиной порядка 0,1 *в* подается на базу одного из транзисторов и вызывает падение напряжения на его коллекторе. Изменение напряжения на выходе в лучшем случае может составить не более 1,5 *в*, но этой величины вполне достаточно, чтобы привести в действие последующую схему.

Число транзисторов, используемых в схеме типа *ИЛИ*, ограничивается в основном током утечки через транзисторы в состоянии



E1	E2	E3	A
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	1

Рис. 31. Схемы типа *И*.

а — на полупроводниковых диодах; *б* и *в* — на транзисторах.

выключено. Если общий ток утечки велик, то разность между выходными уровнями будет слишком мала и может оказаться недостаточной для приведения в действие последующей схемы.

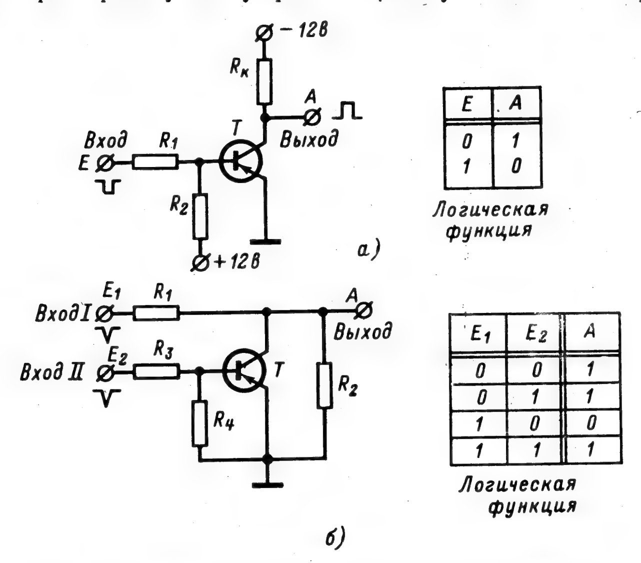
В качестве схем совпадений *И* могут использоваться как схемы на диодах (рис. 31), так и схемы, построенные на электронных лампах, транзисторах и газоразрядных приборах.

В схеме на рис. 31, *а* если R_1 много больше R_2—R_4, то при открытом хотя бы одном диоде выходное напряжение практически будет равно нулю. Только в том случае, когда поступят все три входных сигнала, диоды запираются и на выходе появляется высокое напряжение. Как видно из рисунка, схема может быть построена на любое число входов.

Схема *И* на транзисторах может быть выполнена путем их параллельного или последовательного соединения. При параллельном соединении (рис. 31, *б*) на базу каждого транзистора подается не-

большое отрицательное напряжение, отпирающее его. При этом выходное напряжение будет близко к нулю. Поступление одного из входных сигналов не вызовет изменения выходного напряжения. Только при одновременной подаче на базы транзисторов T_1 и T_2 входных положительных импульсов, запирающих их, выходное напряжение станет равным $E_к$.

При последовательном соединении транзисторов (рис. 31, *в*) входные сигналы могут подаваться как с выходных обмоток трансформаторов предыдущего устройства (между базой и эмиттером),



E	A
0	1
1	0

E_1	E_2	A
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Рис. 32. Схемы, выполняющие логические операции.

а — НЕ, б — Запрет.

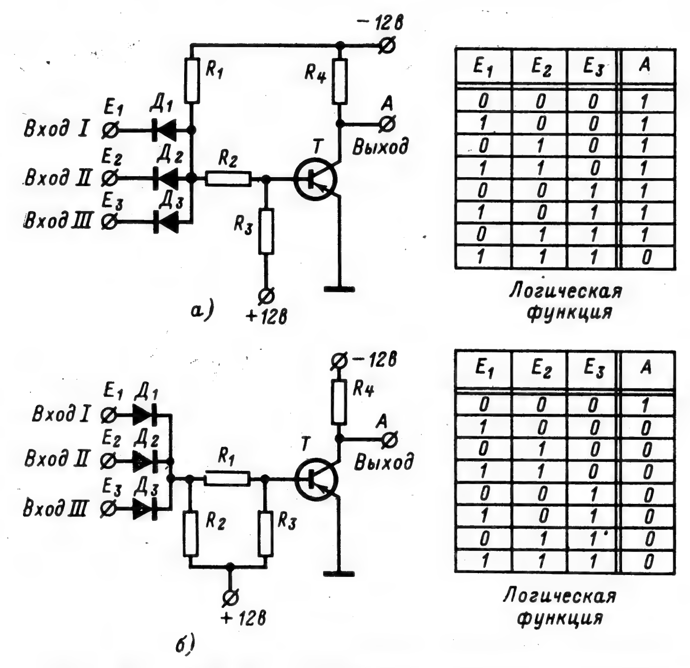
так и непосредственно (между базой и землей). Возможность создания схем совпадений при последовательном соединении транзисторов обусловлена тем, что сопротивление полностью отпертого транзистора практически равно нулю. При отсутствии входных сигналов транзисторы в схеме на рис. 31, *в* заперты и выходное напряжение равно E. Как только входные сигналы совпадут, транзисторы откроются и потенциал на коллекторе выходного транзистора T_2 станет равным нулю.

Из рассмотренных схем *И* (рис. 31) следует, что для их работы необходимо обеспечить совпадение во времени всех входных сигналов; причем длительность выходного импульса определяется общим для всех сигналов временем перекрытия.

Схема отрицания *НЕ* показанная на рис. 32, *а*, представляет собой усилитель постоянного тока, выполненный на транзисторе типа МП16Б.

При отсутствии входного сигнала ($E=0$) на выходе схемы будет высокое напряжение $E_к$. При подаче входного сигнала ($E=1$)

выходное напряжение становится близким к нулю. По отношению к поступающим отрицательным импульсам данная схема является инвертором. Снимаемые с коллекторной нагрузки импульсы имеют положительную полярность.



E_1	E_2	E_3	A
0	0	0	1
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	0

E_1	E_2	E_3	A
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

Рис. 33. Схемы для выполнения логических операций.

а — И — НЕ; б — ИЛИ — НЕ.

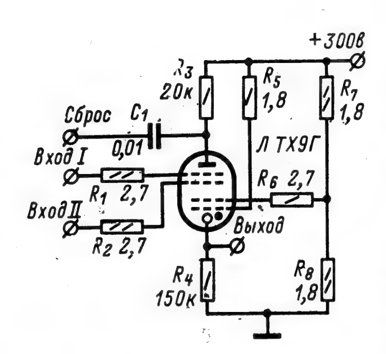


Рис. 34. Схема *ИЛИ* на тиратроне ТХ9Б.

Схемы, реализующие логическую операцию запрещения (*запрет*) по своему построению и используемым элементам могут быть самыми различными.

Одним из вариантов таких схем, выполняемых на транзисторах, показан на рис. 32, *б*.

Входной сигнал E_1 подается на коллектор транзистора, который при отсутствии сигнала E_2 закрыт. Снимаемое в этом случае высокое выходное напряжение E будет зависеть от величины сигнала E_1 и соотношения величин резисторов R_1 и R_2. Если одновременно с сигналом E_1 поступит

сигнал E_2, то транзистор откроется и выходное напряжение практически будет равно нулю, т. е. сигнал E_2 запретит сигнал E_1.

Выше указывалось, что в основе всех преобразователей логических переменных лежат операции *И*, *ИЛИ*, *НЕ*.

Например, схема, осуществляющая логическую операцию *И—НЕ*, выполненная на диодах и транзисторе, показана на рис. 33, *а*. Схема, выполняющая логическую операцию *ИЛИ—НЕ*, тоже может быть выполнена на полупроводниковых приборах (рис. 33, *б*).

Для выполнения различных логических операций в цифровой технике с успехом применяются специальные лампы с холодным катодом, например тиратроны ТХ7Г, ТХ8Г и ТХ9Г.

Одна из таких схем, реализующая операцию *ИЛИ*, показана на рис. 34.

На первую управляющую сетку заведен постоянный разрешающий потенциал. При поступлении сигнала величиной порядка 120 *в* на *Вход* I или *Выход* II тиратрон зажигается и на катодном резисторе R_4 появляется перепад напряжения ($U_{вых}=140\div150$ *в*).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СЧЕТНЫЕ СХЕМЫ

7. Параметры счетных схем

Счетные схемы являются одним из основных узлов цифровых устройств. Они могут использоваться для регистрации как равномерных, так и статистически распределенных во времени импульсов.

Характеристиками счетных схем являются:

а) максимальное число регулярных импульсов в единицу времени, которые схема может регистрировать без пропусков, т. е. максимальная частота повторения импульсов;

б) чувствительность, которая определяет минимальную амплитуду регистрируемых входных импульсов;

в) число элементов, используемых в схеме (электронные лампы, транзисторы, тиратроны и т. п.);

г) потребляемый ток от источников питания;

д) удобство считывания показаний счетчиков;

е) емкость, т. е. максимальное число импульсов, которое счетная схема может зарегистрировать.

В настоящее время разработано большое количество счетных схем, принципы работы которых существенно различаются. Наиболее широкое распространение получили схемы на электронных лампах и на транзисторах.

8. Счетчики на электронных лампах

Основным элементом большинства счетных схем является триггер. В схеме триггера, приведенной на рис. 35, *а*, одно из устойчивых состояний соответствует запертой лампе $Л_1$ и открытой $Л_2$, а другое, наоборот, — запертой лампе $Л_2$ и открытой $Л_1$.

При включении схемы токи, текущие через обе лампы, оказываются неодинаковыми из-за разброса параметров схемы или ха-

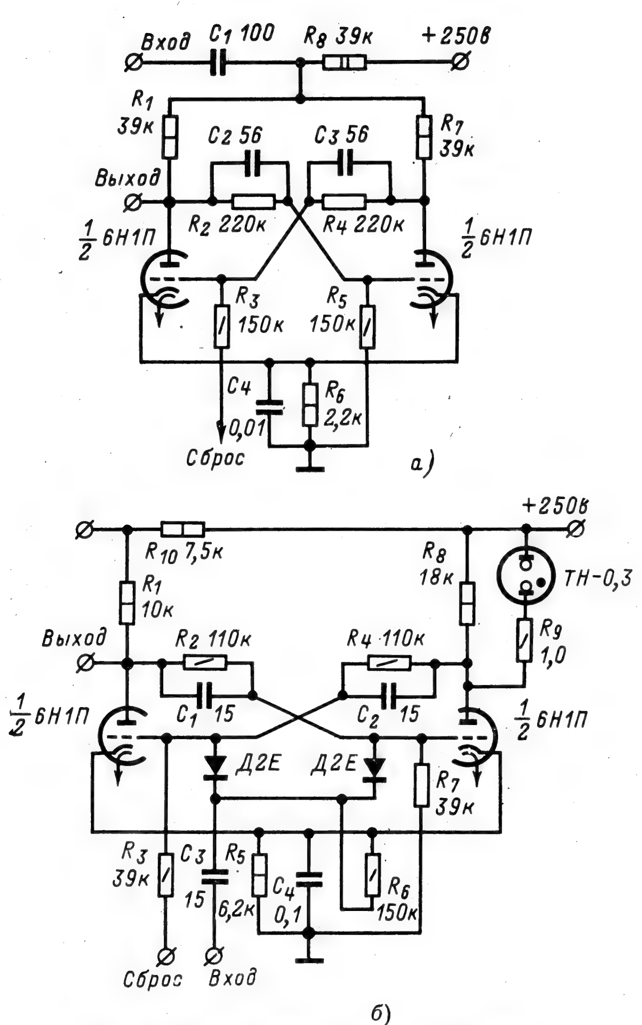


Рис. 35. Пересчетные ячейки на лампах.

а — схема с подачей сигнала на общее анодное сопротивление; *б* — схема с подачей сигнала на сетки лампы.

рактеристик ламп. Вследствие положительной обратной связи триггер опрокидывается и переходит в одно из устойчивых состояний, в котором может находиться сколь угодно долгое время.

Изменение состояния схемы может быть осуществлено подачей пускового импульса, например, на сетку лампы. Переход из одного

устойчивого состояния в другое осуществляется за исходный промежуток времени. Каждое из состояний триггера стабильно, а небольшие изменения напряжения источников питания не вызывают опрокидывания схемы. Конденсаторы C_1 и C_3, шунтирующие переходные резисторы R_2 и R_4, увеличивают скорость переброса триггера.

Запуск триггера может осуществляться двумя способами.

При необходимости получения высокой чувствительности на входе запуск триггера следует производить по управляющей сетке (рис. 35, *б*). Если амплитуда пускового импульса велика, то более предпочтительным является запуск триггера через общее анодное сопротивление (рис. 35, *а*). Большое значение имеют также длительность и форма пускового импульса. Длительность импульса должна быть несколько больше времени переходного процесса в схеме. При этом нарастание импульса должно длиться достаточно быстро. Спад напряжения в подавляющем большинстве случаев имеет вид экспоненты, причем постоянная времени экспоненты примерно вдвое больше постоянной времени анодной цепи триггера.

Ламповые триггеры, как правило, собираются на двойных триодах. Параметры триггера и тип применяемой лампы определяются быстродействием схемы. Увеличить быстродействие триггера можно за счет сокращения времени восстановления исходного состояния схемы.

Для этой цели необходимо выбирать лампы с большой крутизной, большим анодным током, малыми межэлектродными емкостями и малым значением напряжения запирания.

При конструировании триггера особое внимание следует обращать на малый разброс соответствующих элементов схемы. Применяемые элементы (анодные резисторы, резисторы в цепях сеток, переходные резисторы и конденсаторы) должны иметь разброс по номинальной величине не более 5%. Существенное значение при этом имеет идентичность параметров ламп.

Для индикации состоянии триггеров используются неоновые лампы, которые включаются параллельно анодной нагрузке одной из ламп через ограничивающий резистор, как показано на рис. 35, *б*. Потенциал зажигания неоновой лампы выбирается всегда меньше падения напряжения на анодной нагрузке открытой лампы, а падение напряжения на анодной нагрузке запертой лампы должно быть меньше напряжения гашения неоновой лампы. Надо заметить, что подобный способ индикации возможен лишь в том случае, когда число импульсов, подаваемых на вход схемы, не слишком велико (не более 10 в 1 *сек*). Помимо указанного метода контроля состояния триггера существуют также методы с использованием ламп-индикаторов настройки и стрелочных измерительных приборов.

Триггер переводится из одного устойчивого состояния в другое под действием каждого импульса, поступающего на его вход. При этом на анодах лампы возникают импульсы, длительность которых $t_и$ равна интервалу между импульсами, поступающими на вход триггера.

Следовательно, частота импульсов, вырабатываемых триггером, в 2 раза ниже частоты входного сигнала, а сам триггер является при этом делителем частоты в отношении 2 : 1. Это свойство триггера используется для счета импульсов. Два триггера или более, включенных последовательно, образуют двоичный счетчик, в котором каждый триггер представляет один разряд. Как известно, в двоич-

ной системе счисления число импульсов может быть представлено в виде суммы целых степеней числа 2. В каждом разряде числа может быть только одно из двух значений: «0» или «1». Этим значениям чисел соответствуют два состояния триггера. Счетчик, состоящий из четырех триггеров, имеет коэффициент пересчета 16. Это означает, что при поступлении 16-го входного импульса счетная схема возвращается в исходное состояние; на выходе при этом появляется сигнал, называемый импульсом переполнения или переноса в следующий старший разряд.

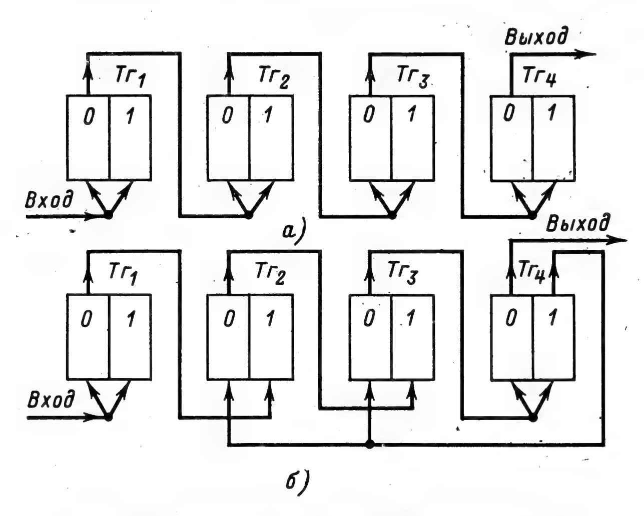


Рис. 36. Блок-схемы счетчиков, построенных на триггерах.

а — двоичного четырехразрядного; *б* — двоично-десятичного.

На рис. 36, *а* изображена блок-схема двоичного счетчика, состоящего из четырех последовательно соединенных триггеров.

Перед началом счета все триггеры счетчика устанавливаются в состояние «0» и индикаторы показывают нулевое состояние 0000. Первый импульс, поступивший на вход триггера $Тг_1$, изменяет его состояние на «1» (показания индикаторов становятся равными 0001). Второй импульс возвращает на «0» $Тг_1$, причем импульс с выхода этого триггера поступает на вход $Тг_2$ и изменяет его состояние на «1» (показания становятся 0010). Третий импульс изменяет состояние $Тг_1$ (показания 0011). Четвертый импульс возвращает $Тг_1$ на «0», после чего $Тг_2$ также возвращается на «0», вследствие этого изменяется и состояние триггера $Тг_3$ (показания 0100).

Аналогичные процессы происходят в счетчике и при поступлении следующих импульсов, вплоть до 15-го (показания 1111), который исчерпывает емкость счетчика. Шестнадцатый импульс возвращает все триггеры на «0».

При необходимости счета большего количества импульсов число триггеров должно быть увеличено.

На практике возникает необходимость производить счет в принятой десятичной системе счисления. Для этой цели применяют так называемые двоично-десятичные пересчетные схемы (декады). Такая схема отличается от двоичного счетчика наличием цепей обратной связи между отдельными ячейками (рис. 36, *б*).

На рис. 37 представлена схема счетчика, составленная из четырех двоичных ячеек на лампах 6Н2П. В приведенной схеме счет импульсов осуществляется таким же образом, как и в обычном двоичном счетчике, вплоть до седьмого импульса.

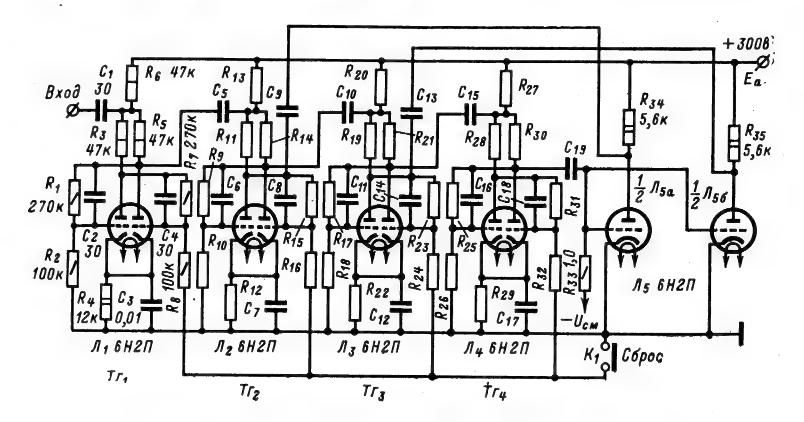


Рис. 37. Схема декады на электронных лампах.

При поступлении на вход счетчика восьмого импульса четвертая ячейка $Тг_4$ опрокидывается и положительный импульс, проинвертированный вспомогательной лампой $Л_5$ (т. е. имеющий теперь отрицательную полярность), подается обратно на левые аноды ламп $Л_2$ и $Л_3$ ячеек $Тг_2$ и $Тг_3$.

Следовательно, вследствие действия импульсов обратной связи ячейки $Тг_2$ и $Тг_3$ перебрасываются снова в состояние «1». После этого счет производится обычным порядком и при подаче десятого импульса все двоичные ячейки снова оказываются в состоянии «0». На этом цикл счета заканчивается.

В табл. 15 указаны состояния всех четырех двоичных ячеек схемы в зависимости от числа приложенных извне импульсов (при наличии обратной связи и без нее). Контроль состояния отдельных двоичных ячеек можно производить с помощью вольтметра или неоновой лампы, включаемых в цепи анодов ламп счетчика.

В качестве другого примера рассмотрим построение счетчика по схеме на рис. 38. Преимуществом данной схемы является то, что она не требует дополнительных спусковых ламп и применяется в быстродействующих счетчиках со скоростью счета до 10^5 отсчетов в секунду.

В схеме имеются две цепи обратной связи $C_{16}R_{33}$ и $C_{17}R_{34}$.

До третьего входного импульса счет идет обычным порядком. При возведени четвертого входного импульса переход из состояния «1» в состояние «0» в ячейке $Тг_1$ вызывает переход из состояния «1»

Таблица 15

Состояния двоичных ячеек

Число входных импульсов	Показания счетчика							
	с обратной связью				без обратной связи			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0	1	0	0
3	1	1	0	0	1	1	0	0
4	0	0	1	0	0	0	1	0
5	1	0	1	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	0
7	1	1	1	0	1	1	1	0
8	0	1	1	1	0	0	0	1
9	1	1	1	1	1	0	0	1
10	0	0	0	0	0	1	0	1
11					1	1	0	1
12					0	0	1	1
13					1	0	1	1
14					0	1	1	1
15					1	1	1	1
16					0	0	0	0
№ ячейки	$Тг_1$	$Тг_2$	$Тг_3$	$Тг_4$	$Тг_1$	$Тг_2$	$Тг_3$	$Тг_4$

в состояние «0» в ячейке $Тг_2$, что в свою очередь вызывает переход из состояния «0» в состояние «1» в ячейке $Тг_3$. Положительный перепад напряжения на аноде правого триода $Л_3$ передается на сетку

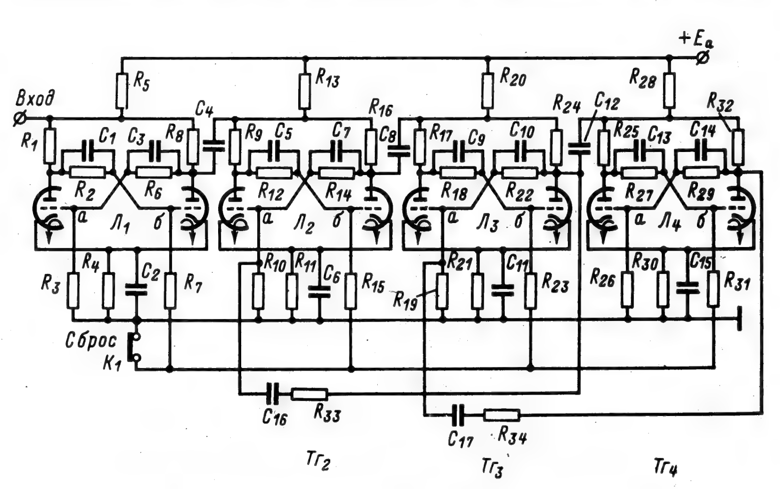


Рис. 38. Схема счетной декады без спусковых ламп.

левого триода $Л_2$ через резистор R_{33} и конденсатор C_{16}, вызывая немедленный обратный переход из состояния «0» в состояние «1» в двоичной ячейке $Тг_2$.

После поступления четвертого импульса цепь двоичных ячеек отображает число 0110 (6), а не 0010 (4). Таким образом, вследствие обратной связи счет подвигается на две единицы. Аналогичным образом обратная связь от ячейки $Тг_4$ к $Тг_3$ при поступлении шестого импульса обусловливает обратный переброс в ячейке $Тг_3$ и продвигает счет на четыре единицы. Вся схема восстанавливает свое первоначальное состояние после поступления десятого входного импульса. Для установки счетчика на нуль служит ключ $К_1$, при размыкании контактов которого правые триоды всех ячеек открываются. В результате этого каждая двоичная ячейка переходит в состояние «0» и счетчик в целом дает нулевое показание.

9. Счетчики на лампах с холодным катодом

Прежде чем рассмотреть построение счетчиков на лампах с холодным катодом, разберем принцип работы отдельной пересчетной ячейки (триггера), построенной на тиратронах.

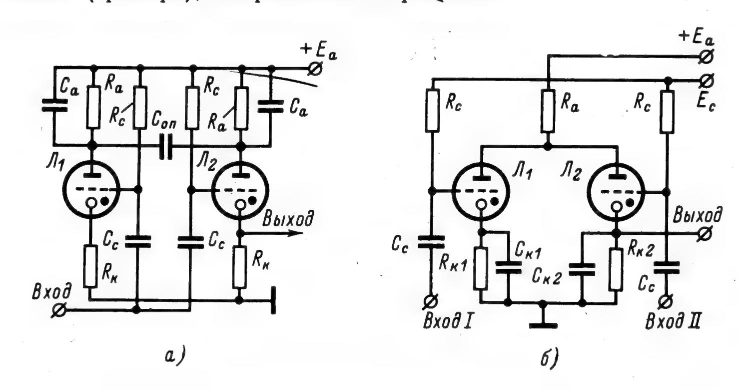


Рис. 39. Триггеры на лампах.

а — с междуанодным опрокидывающим конденсатором; *б* — с общим анодным сопротивлением.

Пересчетные ячейки на лампах с холодным катодом строятся таким образом, что при зажигании одной лампы ячейки на анод (или катод) второй лампы подается отрицательный (или положительный) гасящий импульс. Благодаря этому условию в каждый отдельный момент может проводить только одна лампа схемы.

На рис. 39, *а* приведена схема триггера с междуанодной емкостью. При зажигании одной из ламп схемы на анод другой подается гасящий отрицательный импульс. Выходной сигнал снимается с небольшого резистора в цепи катода. Для увеличения амплитуды сигнала параллельно анодному резистору подключена емкость, которая в момент зажигания шунтирует резистор. По мере заряда емкости

C и перезаряда емкости $C_{оп}$ величина импульса на катоде лампы $Л_2$ (или $Л_1$) снижается до значения

$$\frac{U_а - U_{гор}}{R_а + R_к} R_а.$$

Перепадом напряжения на анодах ламп триггера легко управляются подключенные к ним ламповые схемы. Такой триггер применяется тогда, когда необходимо получить импульсы с большой амплитудой и высокой крутизной переднего фронта (порядка *1—3 мксек*).

Время перезаряда емкости $C_а$ ограничивает рабочую частоту пересчетной ячейки. Снижать величину емкости $C_а$ можно лишь до определенного предела, так как с уменьшением данной емкости уменьшаются амплитуда и длительность гасящего импульса. Если длительность гасящего импульса окажется меньше допустимого времени восстановления анодного напряжения, то лампа $Л_1$ подожжется вновь и будут гореть обе лампы ячейки одновременно. Резистор $R_а$ определяет величину тока через лампу. Величины емкостей $C_а$, $C_{оп}$ и резистора $R_к$ сказываются на мощности, амплитуде и крутизне выходного импульса.

Триггер с общим резистором в цепи анода (рис. 39, *б*) работает иным образом.

Лампы горят поочередно. Катодная цепь каждой лампы содержит цепочку $R_кC_к$. Если горит лампа $Л_1$, то катодный конденсатор $C_{к1}$ заряжен, а $C_{к2}$ разряжен. Пусковой импульс, появляющийся на сетке непроводящей лампы $Л_2$, поджигает ее. При этом возрастает падение напряжения на резисторе $R_{к2}$, а разность потенциалов между анодом и катодом горевшей лампы становится меньше напряжения горения и она гаснет. Лампа $Л_2$ не погаснет, так как конденсатор $C_{к2}$ не успеет сразу зарядиться и напряжение на лампе сохраняется достаточным для поддержания горения. Лампа $Л_2$ остается зажженной до поступления импульса на первый вход. Нужный уровень напряжения на катодах ламп обеспечивается подбором резисторов $R_а$ и $R_{к1}$, $R_{к2}$. Частота работы схемы связана со временем заряда емкости $C_к$ в момент зажигания лампы и со временем разряда катодной цепи после гашения — с постоянной времени цепи $\tau = C_кR_к$.

Время восстановления напряжения на электродах лампы зависит от скорости перезаряда как анодной, так и катодных цепей. К приходу очередного управляющего импульса процессы перезаряда емкостей должны закончиться.

Для построения двоичных счетчиков на лампах с холодным катодом не требуется введения каких-либо вспомогательных каскадов. Разделительные емкости, включенные в сетки ламп триггеров, присоединяются непосредственно к катоду нулевой лампы триггера предыдущего каскада.

Довольно просто триггеры на тиратронах согласуются и в счетчиках с двоично-десятичным кодом. На рис. 40 показан двоично-десятичный счетчик с обратными связями между пересчетными ячейками (с триггера $Тг_4$ на триггеры $Тг_2$ и $Тг_3$). Когда последний триггер $Тг_4$ устанавливается в состояние «1», что соответствует появлению на входе восьмого импульса, запускается ждущий мультивибратор $Л_9$ и $Л_{10}$ и переводит в состояние «1» триггеры $Тг_2$ и $Тг_3$. Таким образом, действие обратной связи аналогично поступлению на вход схемы шести импульсов. После поступления десятого импульса счетчик

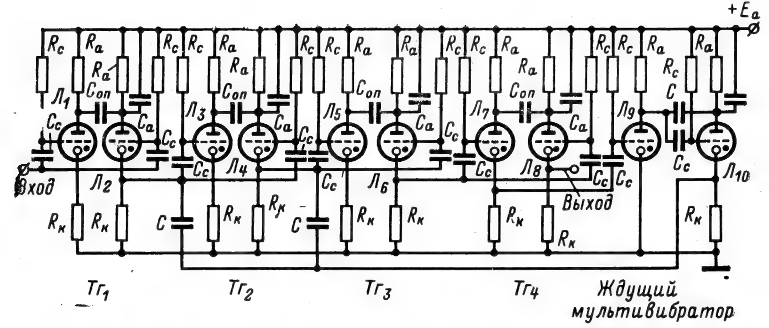


Рис. 40. Схема десятичного счетчика на тиратронах.

переходит в нулевое состояние. Количество разрядов двоичного счетчика на тиратронах может быть сколь угодно большим, однако следует иметь в виду, что триггеры срабатывают с некоторым запаздыванием относительно запускающего импульса и при движении импульса переноса к старшим разрядам это запаздывание накапливается. Например, для лампы ТХ4Б запаздывание на одном разряде составляет около 2 *мксек*.

10. Счетчики на транзисторах

В пересчетных схемах на транзисторах большое распространение получили схемы триггеров с коллекторно-базовыми связями (рис. 41, *а*, *б*).

Для управления триггером имеются два входа, на которые сигналы запуска могут подаваться различными способами.

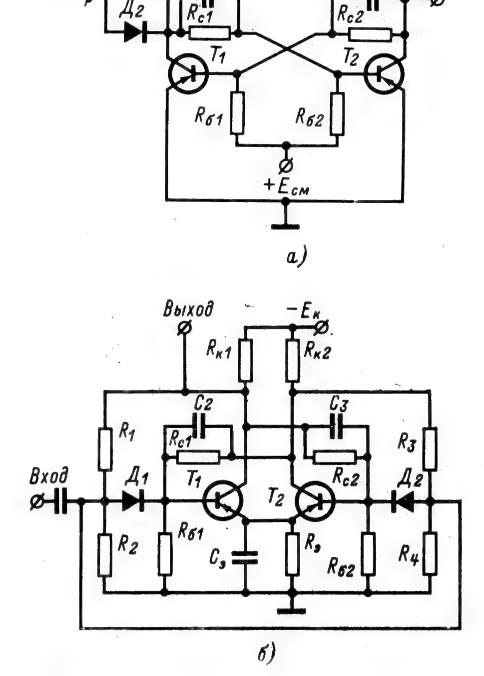


Рис. 41. Триггеры на транзисторах.

а — с коллекторным запуском; *б* — с базовым запуском.

При подаче разнополярных запускающих импульсов на один из входов триггера переход последнего из одного устойчивого состояния в другое будет происходить поочередно в соответствии с полярностью запускающих импульсов. Запуск триггера может производиться также с помощью двух независимых управляющих импульсов одинаковой полярности, которые подаются на разные входы поочередно.

При осуществлении запуска триггера от каждого импульса одной и той же полярности они подаются одновременно на оба входа. Триггер в этом случае имеет счетный вход. Недостатком запуска по счетному входу является снижение быстродействия схемы примерно в 2 раза по сравнению с раздельным запуском.

Для счетного запуска триггера могут использоваться варианты схем, приведенные на рис. 41, *б*. В последнем случае обеспечивается более высокая чувствительность к пусковым импульсам, и, кроме этого, такая схема исключает попадание запускающих импульсов непосредственно на вход последующего каскада, связанного с коллекторами транзисторов триггера.

Десятичный стетчик на транзисторах (рис. 42) представляет собой четыре последовательно соединенных триггера. Обратная связь осуществляется между четвертым и вторым триггерами.

Перед началом счета все триггеры переводятся импульсом сброса в состояние «0» (табл. 16). Запускающийся импульс поступает только в цепь базы открытого транзистора, так как диод в цепи базы закрытого транзистора заперт отрицательным напряжением коллектора. Резисторы R_1, R_8, через которые подается напряжение на пусковые диоды, вместе с конденсаторами C_1, C_4 образуют дифференцирующие цепи. Резисторы R_1, R_8, R_9, R_{16} и диоды $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$, $Д_5$ образуют нелинейные связи, ограничивающие токи через транзисторы.

Таблица 16

Состояния триггеров пересчетной декады при прохождении импульсов от 0 до 10

Триггеры	Импульсы										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
II	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
III	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
IV	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0

Триггеры рассматриваемого десятичного счетчика запускаются импульсами положительной полярности. Последующий триггер перебрасывается только в том случае, когда предыдущий перейдет из состояния «1» в состояние «0».

До поступления восьмого импульса декада ведет себя как обычный двоичный счетчик. При поступлении восьмого импульса перебрасывается $Тг_1$ и с него подается сигнал на $Тг_2$ и $Тг_3$. Под действием этого сигнала оба триггера фиксируются в состоянии «1». Девятый

5—1041

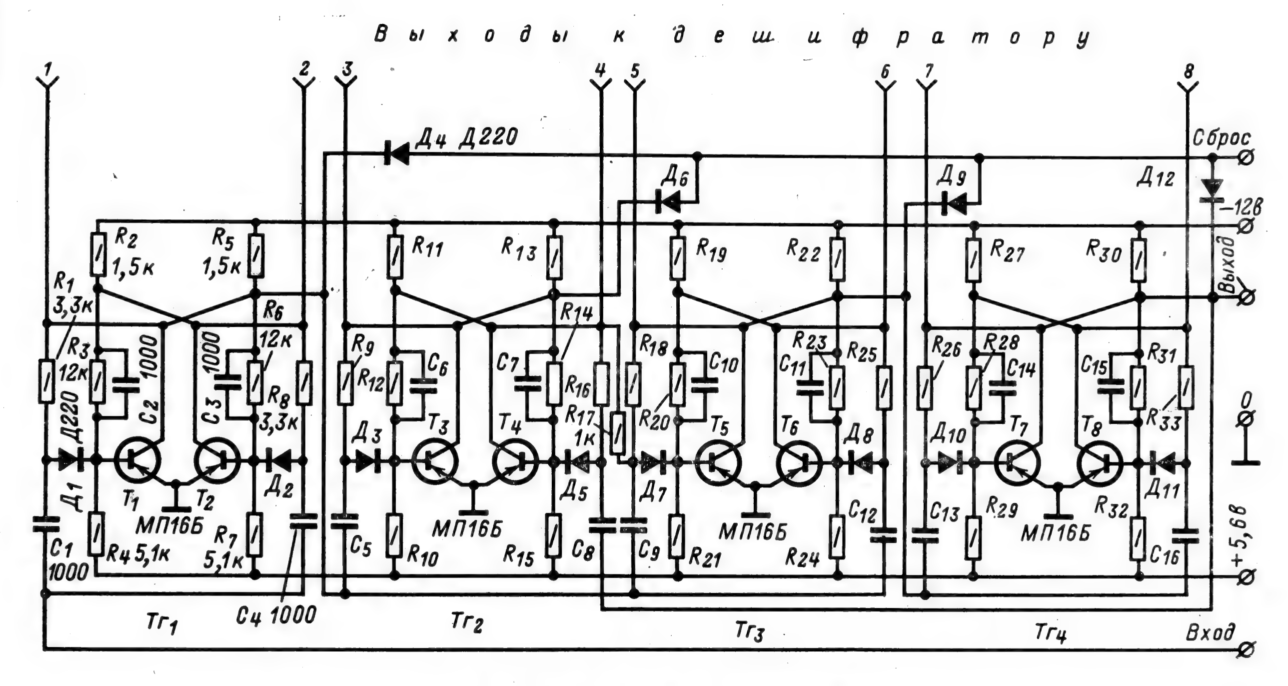


Рис. 42. Схема декады на транзисторах.

входной импульс устанавливает в состояние «1» $Tг_1$. Таким образом, после прихода девятого импульса все триггеры находятся в состоянии «1». Десятый входной импульс возвращает в состояние «0» $Tг_1$. Триггер $Tг_2$ при этом не запускается, так как он зафиксирован в состоянии «1» сигналом потенциальной обратной связи. Но зато $Tг_3$ также возвращается в состояние «0» под действием импульса, поступающего на его вход с выхода $Tг_1$. Выходной импульс $Tг_3$ переводит в состояние «0» $Tг_4$. Положительный перепад напряжения на коллекторе выходного транзистора $Tг_4$, воздействуя на $Tг_2$ через цепь обратной связи, опрокидывает его в состояние «0». Следовательно, после поступления на вход пересчетной декады десяти импульсов все триггеры декады снова устанавливаются в состояние «0» и на выходе счетчика появляется импульс, который может быть передан в последующий высший разряд.

Для частот не выше 250 *кгц* следует применять транзисторы типа МП16Б; до 500 *кгц* целесообразно использовать транзисторы типов 1Т308Б и П416Б. На частотах порядка нескольких мегагерц лучше работают транзисторы типов ГТ313, ГТ311 и ГТ320В.

Импульсные диоды, применяемые в схемах триггеров, должны иметь малое прямое импульсное сопротивление, малое время восстановления обратного сопротивления и малую емкость перехода. Исходя из указанных требований, в триггерах, предназначенных для работы на частотах до 5—10 *Мгц,* следует применять диоды типа Д9Б—Д9К. На более высоких частотах предпочтительнее использовать диоды типов Д18, Д311, Д219, Д220 и т. п.

11. Счетчики на декатронах

Развитие цифровой техники привело к созданию специальных приборов, предназначенных для счетных устройств. Одним из таких приборов является декатрон, представляющий собой многоэлектродную газоразрядную лампу, способную под действием входных импульсов производить декадный пересчет путем перемещения разряда, горящего между анодом и одним из катодов. Индикация числа поступивших импульсов может производиться визуально — через прозрачный купол баллона лампы по положению разрядного свечения или электрически — по напряжению на нагрузке в цепи катодов.

Устройство можно рассмотреть на примере двухимпульсного декатрона типа ОГ4 (рис. 43). Система электродов этого декатрона состоит из 30 штыреобразных проволочных катодов, симметрично расположенных вокруг анода, который выполнен в форме тонкого диска. Все 30 катодов разделены на группы по десять катодов в каждой. Первая группа носит название основных (индикаторных) катодов K_1—K_9. Около этих катодов, светящихся во время работы, устанавливается маска с цифрами. Девять катодов из этой группы выведены на восьмую ножку цоколя. Десятый катод, имеющий название нулевого K_0, имеет отдельный вывод на первую ножку. Вторая группа из десяти катодов называется первыми подкатодами *1ПК*. Все десять первых подкатодов соединены вместе и выведены на четвертую ножку цоколя. Наконец, третья группа из десяти вторых подкатодов *2ПК* имеет свой вывод на ножке шесть. Анод декатрона выведен на третью ножку цоколя. Катоды указанных групп перемежаются и следуют друг за другом в следующем порядке: *К, 1ПК, 2ПК, К, 1ПК, 2ПК* и т. д., образуя замкнутую систему.

Упрощенная электрическая схема включения декатрона ОГ4 приведена на рис. 44. Анод декатрона подключается к плюсу источника питания через ограничивающий резистор R_3, величина которого сильно влияет на работу прибора. На кольца первых и вторых подкатодов подается положительное смещение примерно 35—40 *в*, что ставит их в худшие условия зажигания разряда. При подаче всех необходимых напряжений в дакатроне происходит самостоятельный разряд между анодом и одним из основных катодов. При этом между ними устанавливается напряжение горения $U_{гор}$, величина которого постоянна для данного типа газовой смеси и давления внутри баллона прибора. Избыток напряжения гасится на ограничивающем резисторе R_3. Необходимый режим горения обеспечивается при определенной величине анодного тока в тлеющем разряде. Исходя из номинальной величины этого тока $I_а$ и значения напряжения источника питания $E_а$, выбирается нужная величина ограничивающего резистора. Так, для декатрона типа ОГ4 номинальный анодный ток равен 0,5 *ма*. Напряжение горения $U_{гор}$=125 *в*. Необходимая величина $R_{огр}$ может быть определена по формуле

Рис. 43. Устройство двухимпульсного декатрона.

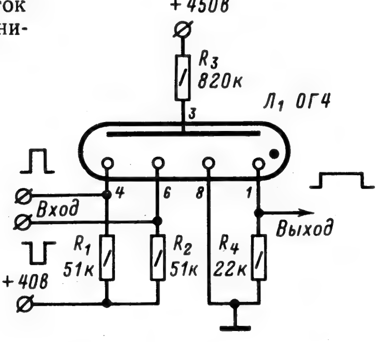


Рис. 44. Упрощенная схема включения декатрона ОГ4.

$$R_{огр}=\frac{U_{гор}}{I_а}=\frac{325}{0,4}=812\ ком. \qquad (23)$$

Здесь 325 *в* избыточное напряжение, которое должно быть погашено при номинальном токе и определяемое выражением

$$U=E_а-U_{гор}=450-125=325\ в. \qquad (24)$$

Для декатрона ОГ4 $E_а$=450 *в*. При правильно выбранной величине $R_{огр}$ и номинальном токе анода устанавливается оптимальное распределение напряжения источника питания. При этом исключаются как одновременное зажигание, так и одновременное горение двух катодов. В том случае, когда в декатроне горит уже один из катодов, самопроизвольное зажигание второго катода становится невозможным, поскольку между анодом и всеми основными катодами устанавливается напряжение горения, величина которого всегда меньше напряжения зажигания. Благодаря положительному смеще-

нию на первых и вторых подкатодах, зажигание и горение их тоже исключено. Поэтому самостоятельный разряд в декатроне возможен только на нулевой катод.

При подаче первого отрицательного импульса напряжение между анодом и всеми первыми подкатодами возрастает. Для всех первых подкатодов, за исключением близлежащего («подготовленного»), величина этого напряжения недостаточна для зажигания. («Подготовка» ближайшего катода к зажиганию объясняется повышенной концентрацией ионов около него вследствие диффузии носителей тока из области разряда. Благодаря этому явлению, носящему название ионной подготовки, переход разряда возможен только на сосед-

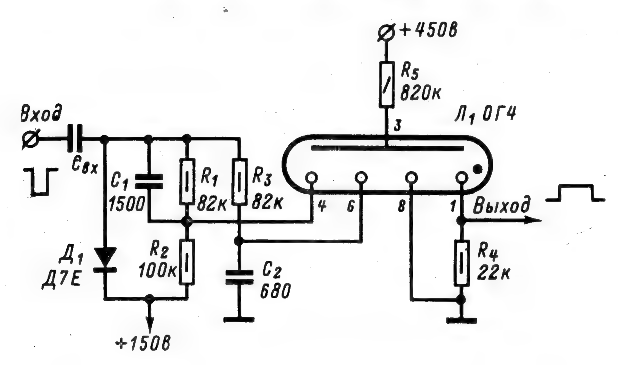


Рис. 45. Схема запуска декатрона ОГ4.

ний от горящего катода электрод и исключен перенос разряда на более удаленные.) Для подготовленного первого подкатода при повышенном напряжении возникает зажигание и разряд переходит на этот подкатод. Одновременно с этим начинается ионная подготовка соседнего второго подкатода. В течение очень короткого промежутка времени в декатроне существует разряд одновременно около двух электродов K_0 и *1ПК*. Добавочный ток первого катода снижает потенциал анода, что приводит к прекращению разряда на K_0. При этом разряд у первого подкатода не прекращается, поскольку между ним и анодом поддерживается достаточное напряжение горения за счет импульса запуска. С прекращением разряда у нулевого катода присходит деионизация промежутка $A—K_0$, длящаяся около 10 *мксек* для быстродействующих декатронов. Импульс запуска должен быть, следовательно, короче этого промежутка времени во избежание повторного зажигания горевшего катода.

С окончанием первого и поступлением второго отрицательного импульса (для двухимпульсных декатронов) разряд аналогичным образом переносится на второй подкатод и подготовляет к зажиганию соседний основной катод — K_1. Одновременно начинается деионизация первого подкатода. После окончания второго импульса напряжение между горевшим вторым подкатодом и анодом становится меньше $U_{\text{гор}}$, разряд переходит на подготовленный основной катод K_1 и пространство около второго подкатода деионизируется. При этом цикл переноса разряда с K_0 на K_1 заканчивается.

При подаче следующих запускающих импульсов разряд продвигается на K_2, K_3, K_4 и т. д. После поступления десяти двойных

импульсов разряд вновь переходит на K_0, откуда он может быть снят и через соответствующее формирующее устройство направлен на следующий декатрон.

Из сказанного выше видно, что время деионизации является основным фактором, ограничивающим быстродействие декатронов. Самый «скоростной» декатрон типа ОГ8 позволяет считать импульсы только до 100 *кгц*. Для получения максимальной скорости счета суммарная длительность запускающих импульсов должна быть равной не более одной трети периода следования счетных импульсов. В большинстве случаев форма импульсов не критична, что позволяет обойтись довольно простой схемой (рис. 45), в которой одиночные импульсы запуска подаются на интегрирующую цепь R_3C_1, чем обеспечивается требуемая растяжка импульса, подаваемого на второй подкатод. С целью выравнивания амплитуд обоих выходных импульсов в цепи незадержанного импульса (для первого подкатода) применен делитель напряжения R_1R_2. Одна из возможных практических конструкций счетной ячейки на декатроне показана на рис. 46.

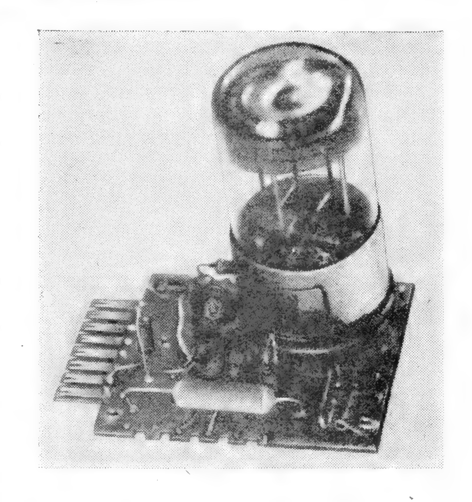


Рис. 46. Счетная ячейка на декатроне.

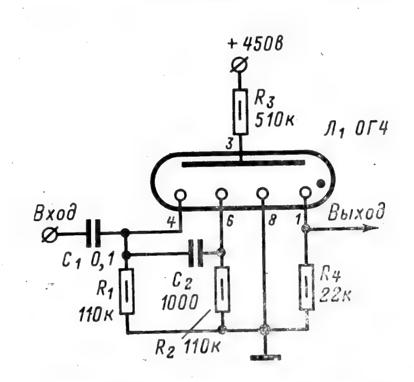


Рис. 47. Схема запуска декатрона от источника синусоидального напряжения.

Иногда встречается необходимость запуска декатрона от источника синусоидального напряжения. Схема включения декатрона при этом еще более упрощается (рис. 47). При указанных номиналах резисторов величина емкости конденсатора C_2 выбирается такой, чтобы сдвиг по фазе между напряжением на первом и втором подкатодах был близок к 45°. Амплитуда синусоидального сигнала должна быть примерно 35—60 *в*.

Двухимпульсные декатроны могут реверсироваться, т. е. изменять направление переноса разряда на обратное. Для этого незадержанный импульс должен подаваться на второй подкатод, а за-

держанный — на первый подкатод. Никаких изменений в схеме при этом не требуется.

Существуют декатроны, запускаемые одиночным импульсом и носящие название одноимпульсных. Примером такого прибора может служить декатрон ОГ3.

По своему устройству этот декатрон подобен рассмотренному ОГ4 с той лишь разницей, что у него имеется не 30, а 40 катодов, разбитых на четыре группы по десять катодов в каждой. В двух пер-

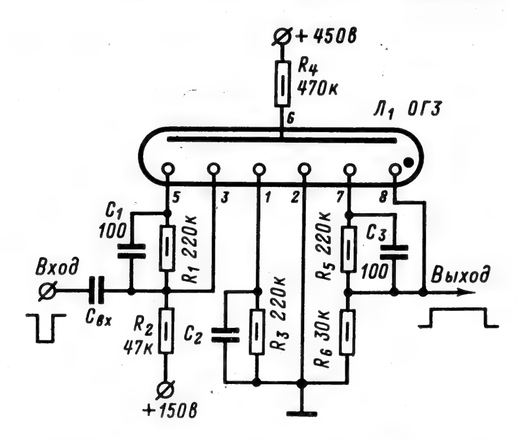


Рис. 48. Схема включения одноимпульсного декатрона.

вых группах, называющихся первыми и вторыми подкатодами *1ПК*, *2ПК*, все десять катодов электрически соединены вместе и выведены на две различные ножки цоколя — 5 и 3 соответственно. В третьей и четвертой группах *3ПК* и *К* вместе объединены только девять катодов с выводом на первую и вторую ножки цоколя. Десятый основной катод, который называется нулевым K_0, и предшествующий ему третий подкатод (называемый нулевым третьим подкатодом $3ПК_0$) имеют отдельные выводы на цоколь — ножки *7* и *8* соответственно. Процесс переноса разряда в декатроне ОГ3 весьма схож с уже рассмотренным в декатроне ОГ4. Схема включения декатрона типа ОГ3 показана на рис. 48.

Как правило, для подсчета и деления частоты запускающих импульсов одного декатрона бывает недостаточно. Поэтому несколько декатронов приходится соединять последовательно в цепочку (линейку). Поскольку полярность выходного импульса положительна, а амплитуда мала (около 20—25 *в*), появляется необходимость в предварительном формировании импульсов запуска. При этом существенную роль играет длительность выходных импульсов декатрона. Для разных частот следования входных импульсов можно применить и различные схемы формирования.

В качестве первого формирующего устройства может быть использована схема, приведенная на рис. 49, *а*. Амплитуда пусковых импульсов для данной схемы может находиться в пределах 10—

80 *в*. Схема представляет ждущий триггер с катодной связью, одним устойчивым состоянием и положительной *«заторможенной»* сеткой. В исходном состоянии левый триод открыт. За счет сеточных токов потенциал сетки фиксирован на уровне +0,5 *в* (по отношению к катоду). Правый триод закрыт отрицательным смещением, образующимся на резисторе R_4 за счет токов левой половины лампы. Запуск осуществляется импульсами, подводимыми либо к сетке правого триода, либо к катоду. В первом случае полярность импульсов положительная, во втором — не имеет принципиального значения.

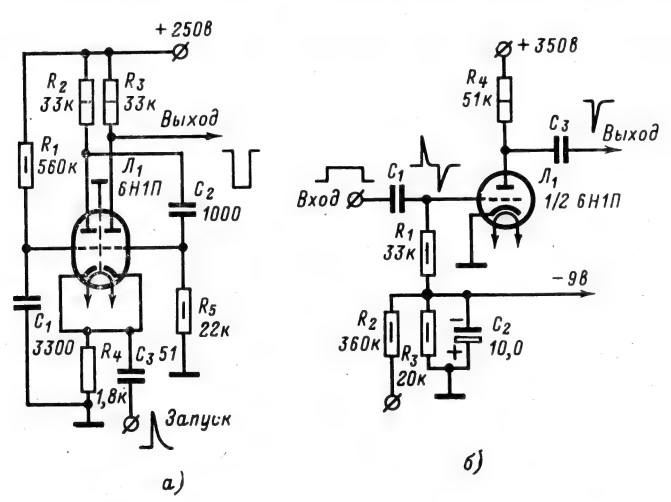


Рис. 49. Схема формирующего устройства.

а — для линейки декатронов; *б* — для одного декатрона.

Для упрощения рассмотрим запуск по сетке, хотя в реальных условиях запуск производится подачей импульса на катод (для лучшей стабильности схемы). При подаче короткого положительного импульса на сетку первого триода (правого) последний открывается и за счет его анодного тока напряжение на катоде резко увеличивается. Это напряжение в отрицательной полярности поступает на сетку левого триода. Левый триод закрывается, и положительное напряжение, образующееся на конденсаторе C_2, поступает на сетку правого триода. Продолжающийся заряд C_2 удерживает правый триод в открытом состоянии, и поэтому надобность в запускающем импульсе отпадает. За счет большого тока правого триода анодное напряжение его становится небольшим (порядка 20—30 *в*), что обеспечивает большую амплитуду выходного импульса. Значительный анодный ток правого триода удерживает левую половину лампы в закрытом состоянии. В это время идет заряд конденсатора C_1 через резистор R_1. При этом потенциал сетки левого триода увеличивается с постоянной времени, равной R_1C_1. По мере заряда конденсатора C_2 положительное напряжение на сетке правого триода уменьшается. В то же время потенциал сетки левого триода за счет тока заряда конденсатора C_1 возрастает до тех пор, пока лампа не откроется.

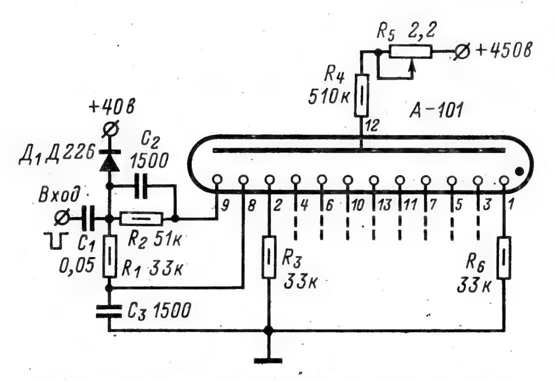


Рис. 50. Схема включения декатрона А-101.

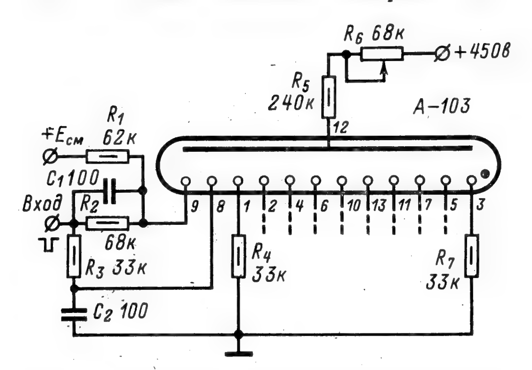


Рис. 51. Схема включения декатрона А-103.

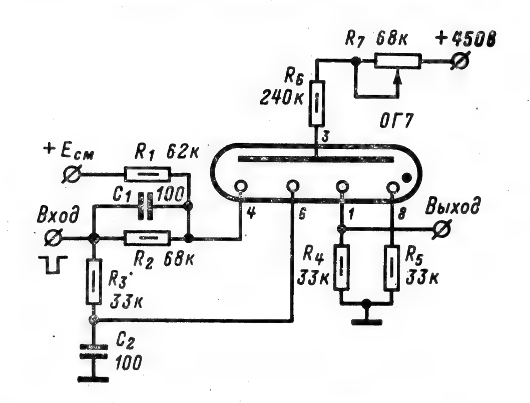


Рис. 52. Схема включения декатрона ОГ7.

Когда откроется левый триод, то начинается обратный процесс опрокидывания триггера, во время которого конденсатор C_1 разряжается сеточными токами, а конденсатор C_2 разряжается через левый триод. После восстановления начального состояния триггер готов к следующему запуску. Для правильной работы триггера необходимо, чтобы $R_1C_1 \geqslant (5 \div 10)(R_2 + R_5)C_2$. Длительность импульса на выходе может регулироваться с помощью изменения величины конденсатора C_2 или резистора R_5 (если R_2 постоянно). При очень широких регулировках необходимо также изменять емкость конденсатора C_1. Рассмотренная схема запускается либо источником первичных импульсов, либо импульсами декатрона после дифференцирования. Все устройство может быть использовано как междукаскадный формирователь импульсов для всех декатронов. Это оправдано только в том случае, когда частота входного сигнала изменяется в очень широких пределах. В других случаях совершенно достаточно иметь формирующее устройство, схема которого показана на рис. 49, *б*.

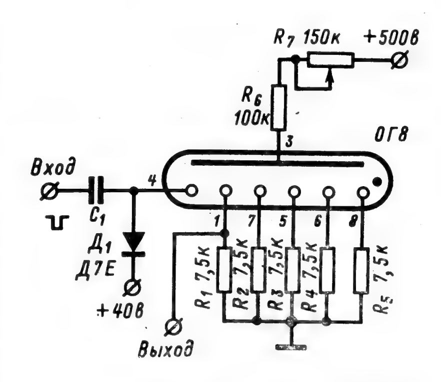


Рис. 53. Схема включения декатрона ОГ8.

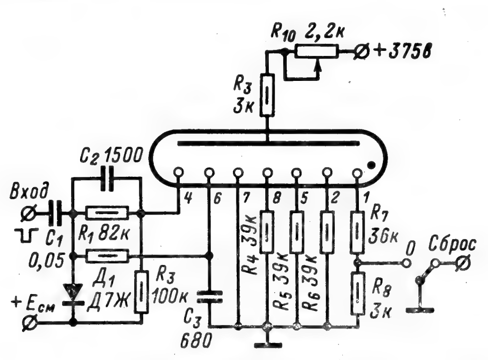


Рис. 54. Схема включения декатрона ОГ9.

Нормально закрытый усилительный каскад запускается импульсами положительной полярности от декатрона после предварительного дифференцирования. Длительность запускающих импульсов регулируется путем подбора емкости конденсатора C_1, который совместно с R_1 образует дифференцирующую цепь.

Основные параметры декатронов приведены в табл. 17, а схемы их включения — на рис. 50—54.

Таблица 17

Основные параметры декатронов

Параметры	Тип декатрона						
	А-101	А-103	ОГ3	ОГ4	ОГ7	ОГ8	ОГ9
Напряжение зажигания $U_{ж}$, *в*	375	430	420	375	430	480	375
Наименьшее напряжение источника питания, *в*	425	450	450	425—475	450	400	400
Напряжение $U_{гор}$ горения, *в*	130—170	225—265	170—210	125	225—265	255—295	220
Напряжение смещения подкатодов, *в*	34—44	34—44	40—50	35	36—44	36—44	40
Ток катода I, *ма*	0,3—0,45	0,7—0,8	0,6—0,8	0,5	0,7—0,85	1,1—1,3	0,3—0,4
Амплитуда управляющих импульсов, *в*	135—200	130—150	110—140	150—200	130—150	80—110	120—170
Длительность управляющих импульсов, *мксек*	200—1 000	7	17—22	160	7	3	160

Параметры	Тип декатрона						
	А-101	А-103	ОГ3	ОГ4	ОГ7	ОГ8	ОГ9
Длительность переднего фронта управляющих импульсов, *мксек*	10—30	—	2—5	15—30	—	0,3—1,0	20
Скорость счета, *гц*	0,01—1 000	0,01—50 000	1—20 000	0,01—2 000	0,01—50 000	0,01—100 000	1—2 000
Напряжение сброса, *в*	150	130—170	—	—	130—170	75—125	150
Амплитуда напряжения выходных импульсов, *в*	20	15	15	15	15	7	20
Коэффициент пересчета	10	10	10	10	10	10	10
Конструкция	Двухимпульсный	Двухимпульсный	Одноимпульсный	Двухимпульсный	Двухимпульсный	С направленным катодом	Двухимпульсный

Примечание. Декатроны ОГ3—ОГ9 предназначены для счета и деления частоты, декатроны А-101, А-103 — для счета и бесконтактной коммутации.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

УСТРОЙСТВА ИНДИКАЦИИ

12. Общие сведения

Информация, выдаваемая цифровыми вычислительными машинами, а также многочисленными приборами дискретной техники (электромоделирующими установками, анализаторами, цифровыми измерительными и контрольными приборами и т. д.), может выдаваться как с записью на бумажную ленту (посредством печатания знаков), так и посредством отображения на световом табло.

Существуют также способы выдачи информации в виде таблиц и графиков на специальные карты или люминесцентные экраны. Последний способ находит применение в специализированных вычислительных машинах и автоматических установках, которые имеют значительные габариты и вес и оперируют большим объемом поступающей информации.

В малогабаритных вычислительных машинах и цифровых измерительных приборах информация отображается с помощью цифровых индикаторов на табло.

Существуют две группы цифровых индикаторов: активные и пассивные. К первой группе относятся индикаторы, которые помимо отображения информации (знаков) осуществляют и счет импульсов. К таким индикаторам относятся декатроны. Вторую группу составляют индикаторы, которые не имеют счетных качеств и служат только для отображения информации (например, индикаторные лампы ИН-1, ИН-2). Первые индикаторы непосредственно связаны со счетными схемами и не могут быть отделены от них ни функционально, ни конструктивно.

Пассивные индикаторы являются своего рода самостоятельными устройствами и могут быть отнесены на значительное расстояние от счетных схем и приборов, к которым они относятся. Цифры и знаки в них могут быть представлены в наиболее удобной форме и иметь значительные размеры.

На индикаторных панелях (табло) цифры могут высвечиваться различными способами: в виде быстро перемещающегося светящегося пятна (луча), рисующего цифру (знак); цифры на табло набираются из отдельных светящихся точек или отрезков линий, образуя своеобразную мозаику. Начертания цифр и знаков получаются при различных комбинациях светящихся элементов, каждый из которых обслуживает одну или несколько цифр; цифры отображаются на экране в виде заранее подготовленной фигуры, вырезанной в металлической пластинке и проецируемой на экране в виде светящихся катодов, выполненных в форме цифр.

Для цифровой индикации могут использоваться также и различные виды люминесценции: фотолюминесценция, катодолюминесценция, электролюминесценция и т. п.

При конструировании цифровых табло необходимо учитывать следующие требования: простоту конструкции, четкость изображения цифр, надежность, удобство считывания показаний.

Цифры на табло должны находиться в одной плоскости и возможно ближе к плоскости передней панели, расстояния между цифрами соседних разрядов не должны превышать половины высоты цифр.

Все цифры, относящиеся к одному числу, должны быть расположены горизонтально и находиться в одном окошке.

Цифры и знаки, отображаемые на табло, должны иметь значительный контраст относительно окружающего светового фона.

Для улучшения условий восприятия показаний цифрового индикатора желательно, особенно когда панель окрашена в светлые тона, вокруг площади окошка сделать черную окантовку. Защитные стекла и экраны цифровых индикаторов не должны отражать лучей посторонних источников и создавать блики.

13. Конструкции цифровых индикаторов

Существует несколько типов конструкций цифровых индикаторов: позиционные, оптические и индикаторы на газоразрядных лампах.

Позиционные цифровые индикаторы представляют собой устройства, где каждая цифра имеет свой светящийся элемент. Результат измерения определяется по светящимся лампам путем считывания значений каждого разряда. Такие индикаторы в большинстве случаев работают на лампах с холодным катодом, имеют небольшие размеры и экономичны в потреблении тока от источников питания. Сверху на лампы может накладываться черная металлическая пластинка с прозрачными транспарантами цифр от 0 до 9. Недостаток этих цифровых индикаторов заключается в том, что разноименные цифры многих разрядов находятся на разной высоте, и поэтому считывание показаний неудобно. Кроме неоновых ламп, в подобных индикаторах могут применяться и обычные малогабаритные лампы накаливания с линзами и вмонтированными металлическими пластинками в виде цифр или знаков.

Схемы включения позиционных цифровых индикаторов на неоновых лампах могут быть выполнены на бесконтактных элементах, например, с помощью диодной матрицы.

Используя высоковольтные полупроводниковые приборы, можно коммутировать неоновые лампы непосредственно ими. В схеме, показанной на рис. 55, к коллекторам транзисторов T_1, T_2, T_3, T_4 подключены делители напряжения на резисторах R_3R_{12}, к которым присоединены электроды неоновых ламп. Противоположные электроды разбиты на две группы — четные и нечетные и присоединены к коллекторам транзисторов T_1 и T_2, которые открываются и закрываются первым триггером декады. В зависимости от состояния этого триггера на четной группе напряжение равно 80 *в*, а на нечетной — близко к нулю или наоборот. Потенциал зажигания примененных неоновых ламп типа МН-8 лежит в пределах 75—80 *в*, поэтому для надежной работы устройства необходима регулировка напряжения для каждой лампы в отдельности.

Цифровые индикаторы на тиратронах тлеющего разряда являются активными индикаторами и применяются в различных счетных схемах. Одна из таких схем, представляющая кольцевую пересчетную декаду, показана на рис. 56.

Запускающий положительный импульс воздействует на управляющий электрод тиратрона «*1*» (при этом тиратрон «*0*» уже подожжен импульсом сброса). Как только загорится тиратрон «*1*», сразу же падает напряжение за счет общей нагрузки R_{22} для всех тиратронов. Это падение напряжения вызывает погасание тиратрона «*0*».

При этом общее анодное напряжение несколько повышается (вследствие уменьшения тока в нагрузке) и поддерживает горение тиратрона «*1*» после снятия импульса. В результате поступления следующего счетного импульса погасает тиратрон «*1*» и зажигается ти-

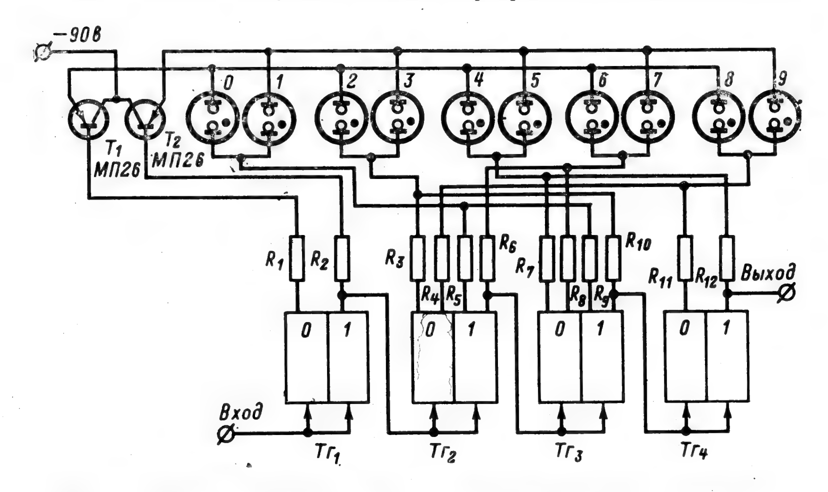


Рис. 55. Схема включения ламп с холодным катодом с помощью транзисторов.

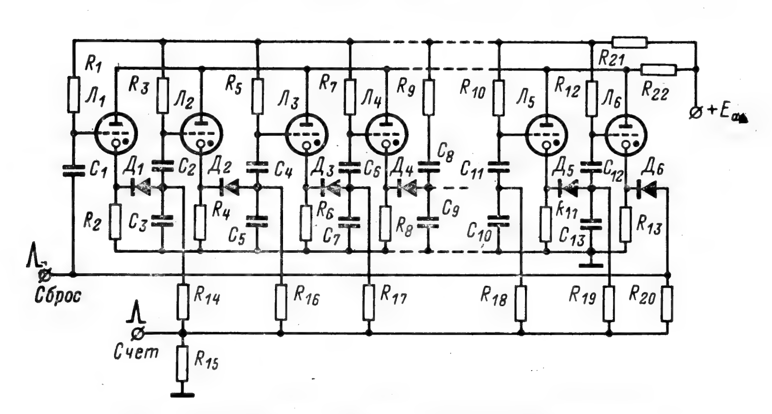


Рис. 56. Кольцевая счетная схема на тиратронах.

ратрон «*2*» и т. д. Наблюдение за работой пересчетной декады осуществляется через прозрачную верхнюю часть баллона ламп.

Оптические цифровые индикаторы основаны на принципе проецирования маленькой освещенной цифры, вырезанной в металлической пластинке, или нанесенной на конденсорную линзу, посредст-

вом оптической системы на матовое стекло (рис. 57). Оптическая система построена так, что все цифры одной декады проецируются в одно место экрана. Одновременно могут светиться только по одной цифре каждой декады. На таком принципе построено проекционное табло отечественного вольт-килоомметра ВК2-6. В этом приборе используется индикатор, состоящий из четырех блоков, три из них содержат цифры от 0 до 9 и запятую, четвертый блок содержит знаки «+», «—», к Ω. В каждом блоке для каждого знака и цифры имеются собственная лампочка накаливания (типа СЦ-76 на 8 *в*), конденсор и объектив. Цифры нанесены на конденсорных линзах. В случае применения оптических цифровых индикаторов необходимо учитывать освещение помещения с тем, чтобы максимально улучшить условия считывания показаний. Для повышения контрастности цифр можно применять фильтры, например, желтого или желто-зеленого цвета на темном фоне.

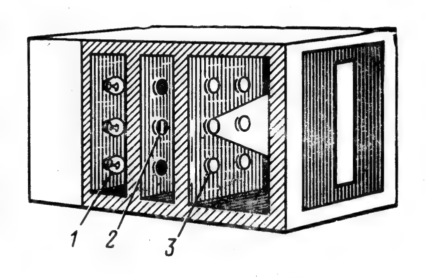


Рис. 57. Проекционный цифровой индикатор.

1 — лампа; *2* — маска; *3* — конденсатор.

Индикаторные лампы тлеющего разряда ИН-1 и ИН-2 имеют катоды, выполненные в форме цифр от 0 до 9. Все десять катодов расположены один над другим и имеют небольшую ширину и толщину. Черный экран, окружающий пакет электродов, устраняет отблеск от ножки и колбы. Светящиеся цифры наблюдаются со стороны купола лампы, имеющего сферическую форму. Для повышения долговечности ламп типов ИН-1 и ИН-2 их желательно питать импульсным напряжением частотой 20 *гц* и длительностью импульса около 50 *мксек*.

Достоинства газоразрядных ламп цифровой индикации заключаются в небольших размерах, высокой контрастности изображения, большой скорости срабатывания, малом потреблении тока от источников питания. Недостатками этих ламп являются довольно глубокое расположение цифр от поверхности купола и высокое напряжение питания.

Для переключения электродов индикаторных ламп используются различные контактные и бесконтактные схемы. Две схемы включения индикаторных ламп посредством транзисторных ключей показаны на рис. 58 и 59.

Схема, приведенная на рис. 58, представляет собой матрицу на резисторах, имеющую восемь входных и десять выходных шин. Входные сигналы подаются на шины от триггеров счетчика, а на выходных шинах включены транзисторы типа МП26Б, работающие в ключевом режиме. Питание индикатора производится от двух источников, соединенных последовательно: —60 и +120 *в*. Величины резисторов матрицы выбраны из расчета минимальной нагрузки на триггер и условий обеспечения необходимого базового тока для управления ключевыми транзисторами. Под действием выходных сигналов матрицы девять ключей из десяти переходят в открытое состояние.

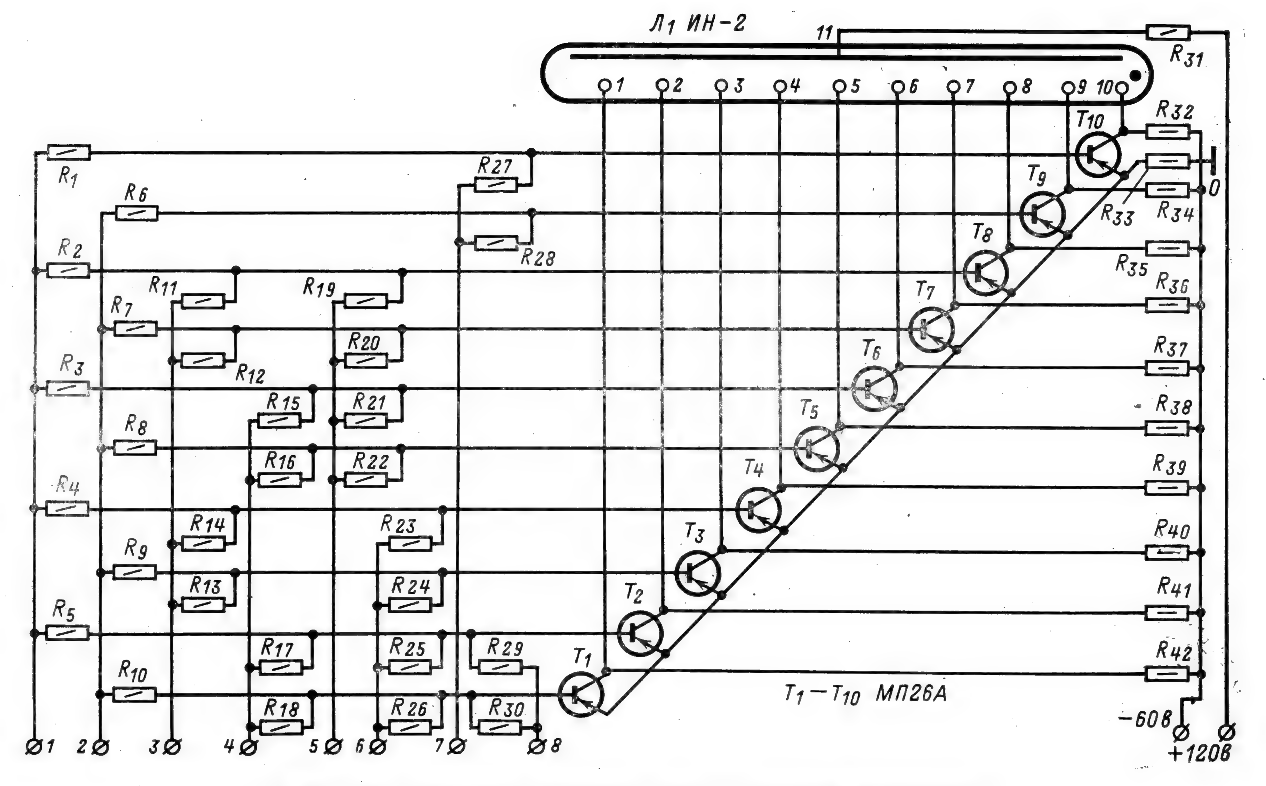


Рис. 58. Схема включения индикатора ИН-2 с помощью транзисторов.

6—1041

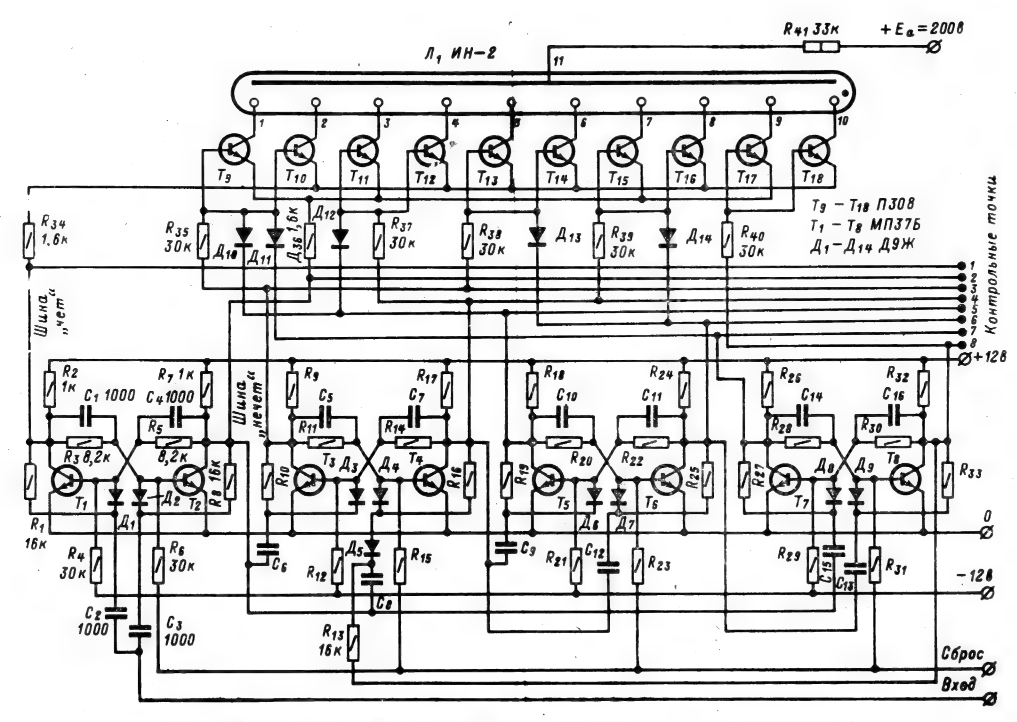


Рис. 59. Десятичный счетчик на транзисторах с лампой ИН-2.

Напряжение на девяти цифровых электродах индикаторной лампы в результате замыкания источника — 60 *в* через ограничивающие резисторы R_{34}—R_{42} (24 *ком*) и открытые ключи снижается почти до нуля. На соответствующих катодах лампы напряжение снижается до 120 *в*, что не обеспечивает их зажигания.

Все десять ключей имеют общую эмиттерную нагрузку R_{33} сопротивлением 30 *ом*. Напряжение около 0,7—0,8 *в*, падающее на ней, обеспечивает необходимое смещение закрытому транзистору.

База десятого транзистора, соединенная с одной из выходных шин матрицы, оказывается подключенной к коллекторам отпертых транзисторов триггерных ячеек, и на нее воздействует только напряжение, снимаемое с эмиттерной нагрузки. В результате ключ переходит в закрытое состояние. Напряжение на его коллекторе, равное —60 *в*, в сумме с напряжением второго источника +120 *в* обеспечивает зажигание соответствующей цифры индикаторной лампы.

На рис. 59 приведена полная принципиальная схема десятичного счетчика на транзисторах типа *n-p-n* с дешифратором и индикатором на лампе ИН-2.

Дешифратор представляет собой матрицу, составленную из резисторов R_{35}—R_{40} и диодов $Д_{10}$—$Д_{14}$. Он преобразует двоично-десятичный код декады в десятичный и управляет работой цифрового индикатора с помощью ключей (транзисторы T_9—T_{18}).

Ключевые транзисторы включены последовательно с катодами индикатора $Л_1$ и управляют зажиганием соответствующих цифр.

Для упрощения коммутации цифры разделены на две группы: четные и нечетные. Соответственно этому эмиттеры «четных» ключей присоединены к «четной» шине, а эмиттеры «нечетных» — к «нечетной». Шины «*чет*» и «*нечет*» в свою очередь соединены с коллекторами транзисторов T_1 и T_2, входящих в состав триггера $Тг_1$. В зависимости от состояния триггера $Тг_1$ будут зажигаться четные и нечетные цифры. Остальные триггеры $Тг_2$, $Тг_3$ и $Тг_4$ через матрицу управляют ключевыми транзисторами по базам и гасят ненужные цифры.

Индикатор питается напряжением +200 *в* через ограничивающий резистор R_{41}. За счет падения напряжения на этом резисторе (при горении одной из цифр) на аноде устанавливается напряжение порядка 150—160 *в*.

ГЛАВА ПЯТАЯ

НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

14. Формирователь импульсов

В некоторых устройствах цифровой техники часто необходимо входные сигналы, которые имеют синусоидальную форму, преобразовать в импульсы прямоугольной формы. Такое преобразование можно осуществить с помощью формирователя, показанного на рис. 60. Он включает в себя эмиттерный повторитель T_1, усилитель T_2, собственно формирователь (триггер Шмитта на транзисторах T_3 и T_4) и выходной эмиттерный повторитель T_5.

Входное напряжение в зависимости от амплитуды и частоты может подаваться на вход транзистора T_1 через конденсатор C_4 либо через ограничивающий резистор R_2 и конденсатор C_1. Режим эмиттерного повторителя устанавливается с помощью делителя R_1 и R_4. Обратная связь через конденсатор C_2 увеличивает входное сопро-

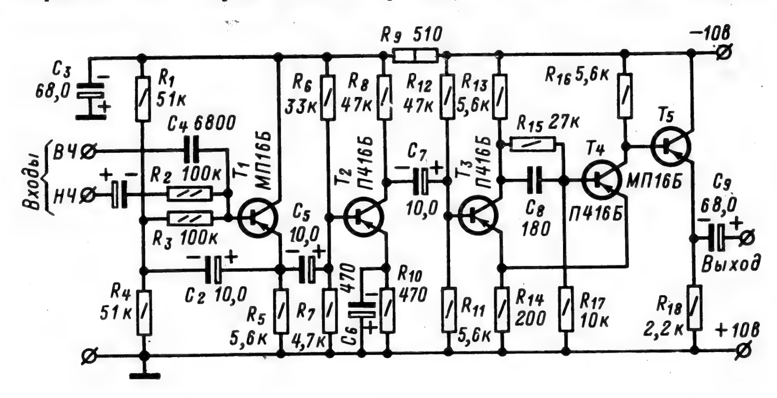


Рис. 60. Формирователь прямоугольных импульсов.

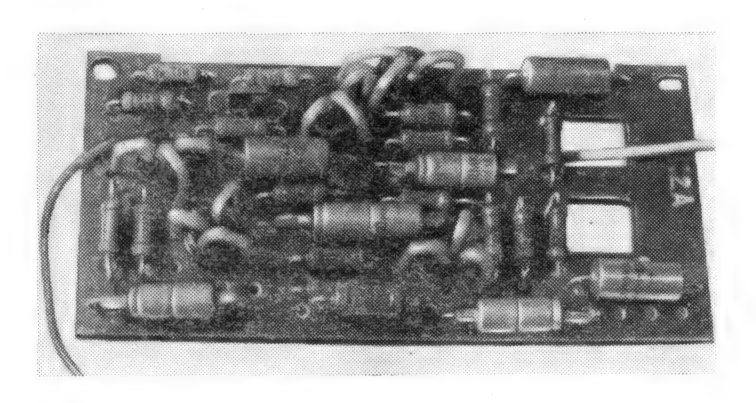


Рис. 61. Плата формирователя импульсов.

тивление каскада по переменному току. Сигнал, усиленный транзистором T_2, управляет работой триггера Шмитта. Запуск триггера осуществляется отрицательным перепадом напряжения, подаваемого на базу транзистора T_3. Конденсатор C_8, подключенный параллельно резистору R_{15}, позволяет уменьшить время переключения триггера из одного устойчивого состояния в другое. Для согласования сигнала с нагрузкой служит эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе T_5. Переменное напряжение, подаваемое на вход *НЧ*, может иметь частоту от единиц герц до 100 *кгц*, а напряжение, поступаю-

щее на вход *ВЧ*, может иметь частоту до 750 *кгц*. Амплитуда входного сигнала лежит в пределах от 20 *мв* до 20 *в*. Длительность фронта выходных импульсов не превышает 0,5 *мксек*. Внешний вид формирователя показан на рис. 61.

15. Преобразователь «напряжение — частота»

Основной частью цифровых измерительных приборов являются устройства, преобразующие аналоговые величины в дискретную форму. К таким устройствам относятся преобразователи типа «напряжение — частота», т. е. частотные модуляторы. Выходная частота таких модуляторов пропорциональна приложенному извне управляющему (входному) напряжению.

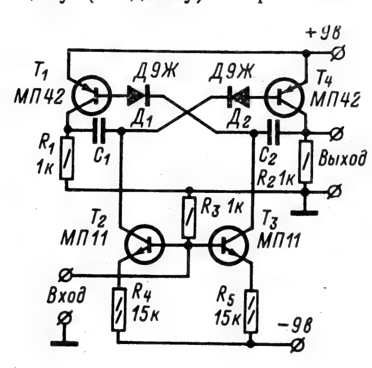


Рис. 62. Схема простого преобразователя аналог-цифра («напряжение — частота»).

Таблица 18

Зависимость K от F

C_1 и C_2, *мкф*	F, *кгц*	K_1, *кгц/в*
0,001	35	3,5
0,01	3,5	0,35
0,1	0,35	0,035
1,0	0,035	0,0035
10,0	0,0035	0,00035

Простейшее устройство, осуществляющее подобное преобразование, можно собрать по схеме, приведенной на рис. 62.

Как видно из схемы, в базовых цепях мультивибратора, собранного на транзисторах T_1 и T_4, вместо обычных резисторов, определяющих совместно с конденсаторами C_1 и C_2 частоту генерируемых импульсов, включены каскады на транзисторах T_2 и T_3. Таким образом, постоянные времени разряда конденсаторов C_1 и C_2 оказываются зависимыми от внутренних сопротивлений управляющих транзисторов, а последние — от величины и полярности приложенного входного напряжения. При увеличении положительного напряжения внутреннее сопротивление транзисторов уменьшается, при этом также уменьшаются и постоянные времени базовых цепей транзисторов T_2 и T_3, а частота повторения выходных импульсов соответственно увеличивается. При изменении полярности напряжения процессы в преобразователе повторяются в обратном порядке.

Диапазон изменения входного напряжения лежит в пределах от —5 до +5 *в* при сохранении линейной зависимости частоты следования импульсов от величины входного напряжения. Зависимость коэффициента преобразования K от частоты следования импульсов F при нулевом входном напряжении и при различных величинах емкостей конденсаторов C_1 и C_2 приведена в табл. 18.

16. Декатронный делитель частоты

В измерительной практике часто возникает необходимость в делителях частоты следования импульсов. К приборам, использующим делители частоты, относятся схемы стандартов частоты.

На рис. 63 показана полная принципиальная схема декатронного делителя частоты с коэффициентами деления 2, 4, 5, 10, 20, 25, 50, 100. Для получения указанных коэффициентов деления с помощью переключателей $П_3$, $П_4$, $П_5$, $П_6$ и $П_7$ производится соответствующая коммутация катодов ламп $Л_2$ и $Л_3$. Например, для получения коэффициента деления 2 катодный резистор R_{15} коммутируется так, чтобы он стал общим для катодов *0, 2, 4, 6, 8* лампы $Л_2$. При этом ток разряда будет протекать через резистор R_{15} после прихода второго, четвертого, шестого и т. д. входных импульсов, что соответствует делению входной частоты на 2. При делении частоты на 100 ток через резистор R_{15} будет протекать после поступления 10-го импульса, а ток через резистор R_{21} (следующего разряда) — после поступления 100-го импульса. Максимальная частота, которая может быть подана на вход делителя, зависит от типа применяемых декатронов; например, для декатрона А103 она лежит в пределах 50 *кгц*.

Таблица 19

Положения переключателей в схеме (рис. 63) для получения различных коэффициентов деления частоты

Коэффициент деления	$П_3$	$П_4$	$П_5$	$П_6$	$П_7$
1:2	*а*	*б*	*а*	*а*	*б*
1:4	*а*	*б*	*а*	*б*	*а*
1:5	*б*	*а*	*а*	*а*	*б*
1:10	*а*	*а*	*а*	*а*	*б*
1:20	*а*	*б*	*а*	*а*	*а*
1:25	*б*	*а*	*б*	*а*	*а*
1:50	*б*	*а*	*а*	*а*	*а*
1:100	*а*	*а*	*а*	*а*	*а*

Входное напряжение на делитель частоты подается с резисторов R_1—R_3. Лампа $Л_1$ является предварительным усилителем и управляющим каскадом для первого декатрона. Левая половина лампы $Л_4$ служит управляющим каскадом для второго декатрона, а правая половина этой лампы является выходным каскадом, с которого могут сниматься как положительные, так и отрицательные импульсы. Переключатель $П_2$ служит для подачи импульсов определенной полярности на вход декатрона $Л_2$.

Напряжение величиной 0,5—1 *в* частотой 100 *гц*, снимаемое с резистора R_{33}, используется при калибровке прибора.

Положения переключателей $П_3$, $П_4$, $П_5$, $П_6$ и $П_7$, необходимое для получения различных коэффициентов деления частоты, приведены в табл. 19.

17. Цифровой измеритель емкости и сопротивления

Прибор, схема которого показана на рис. 64, служит для измерения емкости конденсаторов в диапазоне от 10 *пф* до 10 *мкф* и сопротивлений от 1 *ом* до 1 *Мом*. Данный диапазон разбит на четыре поддиапазона. Погрешность измерения на всех поддиапазонах не превышает 1% от значения верхнего предела измеряемой величины ±1 знак последнего младшего разряда. Для индикации результатов измерения служат индикаторные лампы ИН-2, которые включены

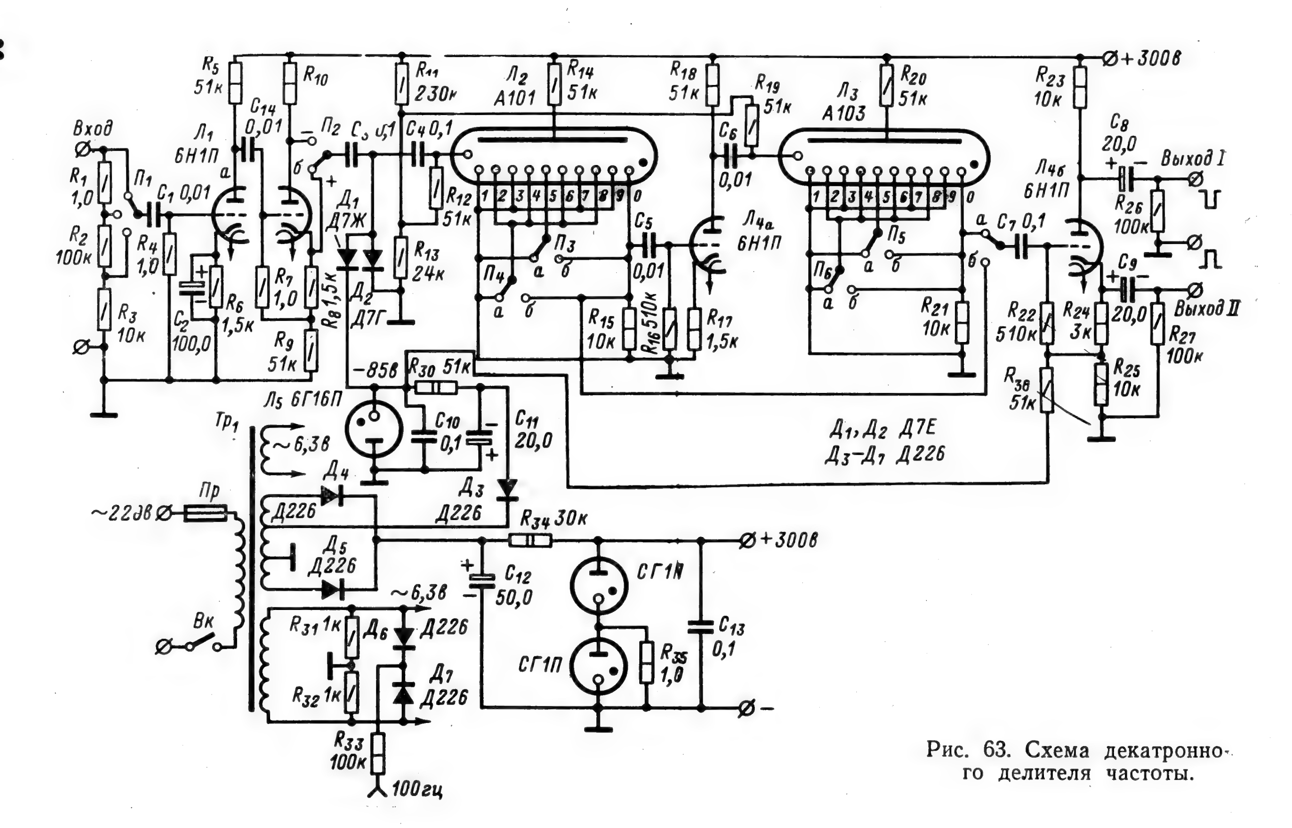


Рис. 63. Схема декатронного делителя частоты.

на выходе четырех цифровых декад $Д_1$—$Д_4$, образующих четырехразрядный счетчик. Подобные декады были описаны выше.

Принцип действия прибора основан на преобразовании величины емкости или сопротивления в интервал времени, в течение которого на счетчик поступает определенное количество импульсов, пропорциональное данному интервалу времени и, следовательно, величине емкости или сопротивления.

При замыкании контактов кнопки $Кн_1$ напряжение от источника питания подается на измерительную цепь RC и на триггер T_6—T_7 через дифференцирующую цепочку, состоящую из конденсатора C_8 и резистора R_{22}. Триггер опрокидывается, формируя фронт импульса, поступающего на схему совпадений T_5. При этом счетные импульсы, вырабатываемые опорным генератором T_1—T_2 и формируемые триггером Шмитта T_3—T_4, с выхода схемы совпадений начинают поступать на счетчик.

Конденсатор C измерительной цепи заряжается током, протекающим через резистор R. Возрастающее напряжение заряда подается на схему сравнения напряжений. Как только конденсатор зарядится до определенного напряжения, схема сравнения выдает импульс на триггер, возвращая его в исходное состояние. Поступление счетных импульсов на счетчик при этом прекращается.

За промежуток времени τ, равный постоянной времени цепи $RC(\tau=RC)$, при частоте счетных импульсов f на счетчик поступит N импульсов, т. е. при $f=\mathrm{const}$

$$N = fRC. \qquad (25)$$

При измерении сопротивлений на каждом поддиапазоне включается эталонный конденсатор. Число импульсов, поступающих на счетчик, будет прямо пропорционально величине измеряемого сопротивления, т. е.

$$N_R = RC_x. \qquad (29)$$

При измерении емкости на каждом поддиапазоне включается эталонное сопротивление. В этом случае число импульсов будет прямо пропорционально измеряемой емкости, т. е.

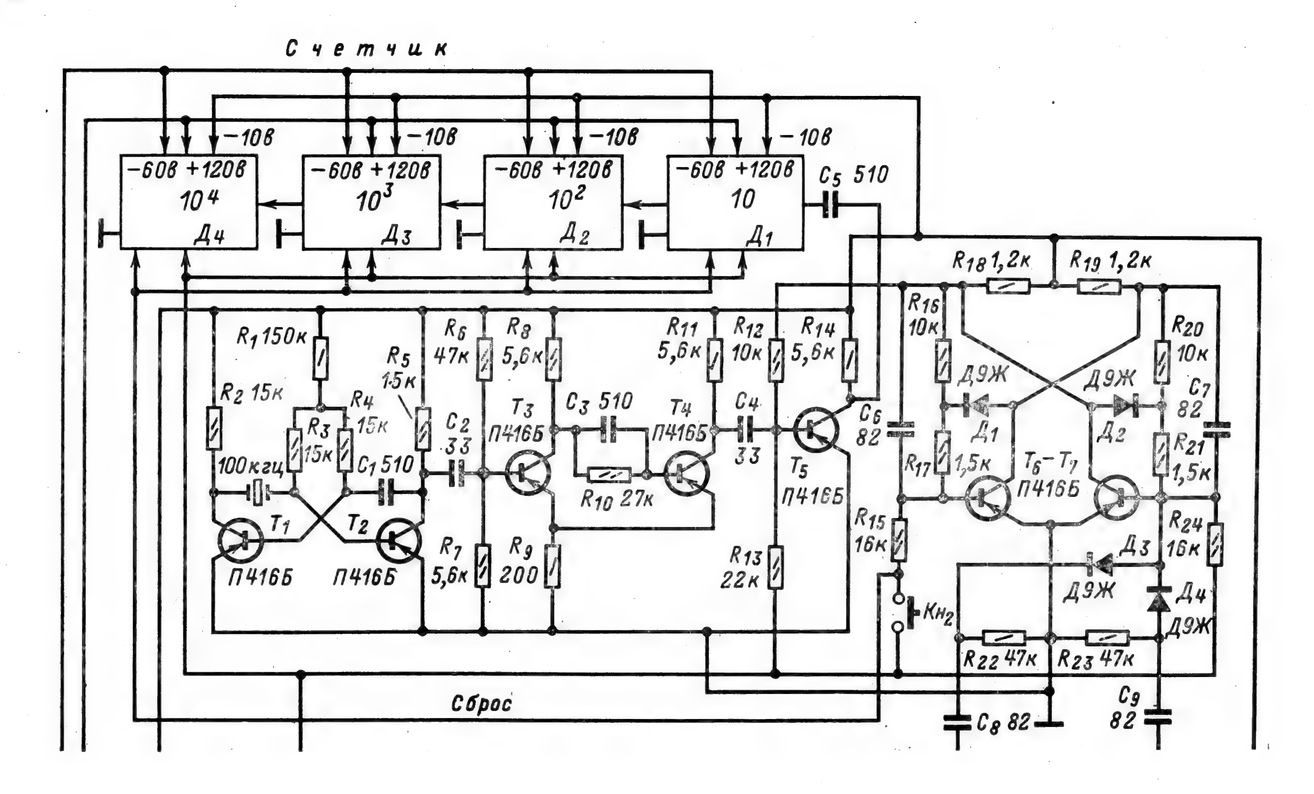
$$N_C = RC_x. \qquad (27)$$

Частота счетных импульсов, а также величины образцовых емкостей и сопротивлений на каждом поддиапазоне выбираются такими, чтобы коэффициент пропорциональности k был кратным 10.

Показания индикатора умножаются на этот коэффициент, и результаты измерения отсчитываются в омах и пикофарадах.

Максимальное время измерения определяется наименьшей величиной постоянной времени τ на верхнем пределе и не превышает 0,01 *сек*. В схеме, показанной на рис. 64, положения переключателей соответствуют измерению сопротивлений в пределах 1 000 *ом*. Генератор счетных импульсов состоит из мультивибратора, стабилизированного кварцем (T_1—T_2), и одностабильного триггера с эмиттерной связью на транзисторах T_3 и T_4 (триггер Шмитта), который формирует импульсы прямоугольной формы с короткими фронтами. Эти импульсы с коллекторной нагрузки транзистора T_4 через конденсатор C_4 поступают на схему совпадений T_5.

Счетные импульсы со схемы совпадений поступают на счетчик только тогда, когда на базу транзистора T_5 через резистор R_{12} по-


Счетчик
−10в
−60в +120в
10^4
Д4
10^3
Д3
10^2
Д2
10
Д1
C5 510
R18 1,2к
R19 1,2к
R1 150к
R2 15к
R3 15к
R4 15к
R5 15к
R6 47к
R7 5,6к
R8 5,6к
R9 200
R10 27к
R11 5,6к
R12 10к
R13 22к
R14 5,6к
R15 16к
R16 10к
R17 1,5к
R20 10к
R21 1,5к
R22 47к
R23 47к
R24 16к
100кгц
C1 510
C2 33
C3 510
C4 33
C6 82
C7 82
C8 82
C9 82
T1
T2
П416Б
T3 П416Б
T4 П416Б
T5 П416Б
T6−T7 П416Б
Д9Ж
Д1
Д2
Д3
Д4
Кн2
Сброс

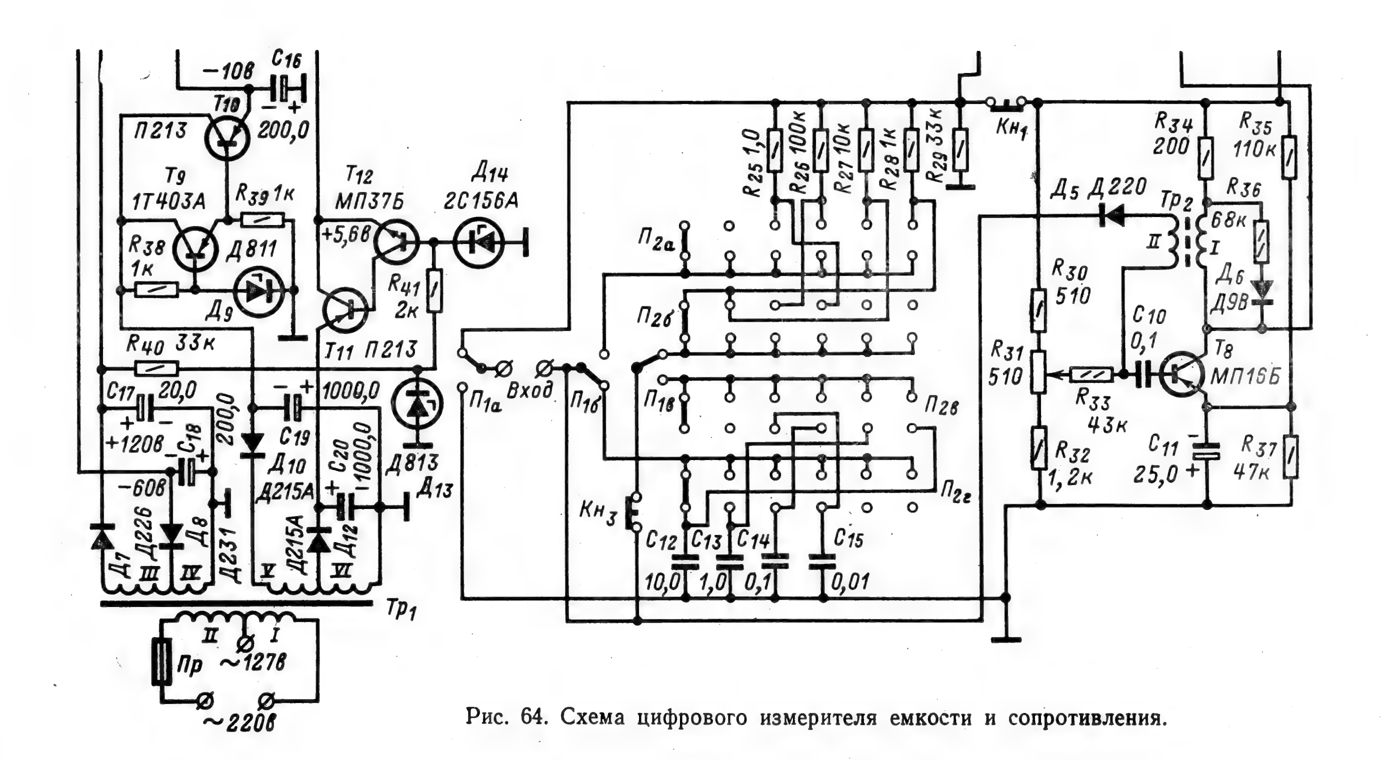


Рис. 64. Схема цифрового измерителя емкости и сопротивления.

дается напряжение около 1,2 *в* с триггера T_6, T_7. В исходное состояние этот триггер возвращается нажатием кнопки $Кн_2$. При этом на короткое время с базы транзистора T_6 снимается напряжение смещения +5,6 *в*. Аналогичным образом возвращают в исходное (нулевое) состояние и триггеры декад $Д_1$ счетчика импульсов. Когда триггер T_6, T_7 находится в исходном состоянии (заперт), напряжение на коллекторе T_7, а следовательно, и на схеме совпадений низкое — порядка —9 *в*, и счетные импульсы с генератора на счетчик не поступают.

Для проведения измерений необходимо нажать на кнопку $Кн_1$, при этом импульс напряжения порядка —10 *в* подается на измерительную цепь *RC*. Фронт этого импульса, продифференцированный цепью C_8R_{22}, через диод $Д_3$ запускает триггер. Последний опрокидывается, и с коллекторной нагрузки транзистора T_7 через резистор R_{12} на схему совпадений подается напряжение, при котором счетные импульсы начинают поступать на счетчик.

При измерении сопротивлений напряжение —10 *в* через переключатель рода работы $П_{1а}$ поступает на измеряемое сопротивление R_x. Током, протекающим через это сопротивление, заряжается эталонный конденсатор C_{12}. Отрицательное напряжение заряда подается на схему сравнения напряжений, которая состоит из диода $Д_5$ и блокинг-генератора на транзисторе T_8. В исходном состоянии диод $Д_5$ заперт отрицательным напряжением, поступающим со средней точки потенциометра R_{31} через сопротивление R_{33} и обмотку *II* блокинг-трансформатора $Тр_2$. Как только напряжение на эталонном конденсаторе станет равным запирающему напряжению, через диод $Д_5$ и обмотку трансформатора потечет ток, который вызывает срабатывание блокинг-генератора. Импульс напряжения блокинг-генератора поступает на дифференцирующую цепь C_9R_{23}. Продифференцированный фронт импульса запускает триггер T_6, T_7. Триггер опрокидывается, и поступление импульсов на счетчик прекращается.

При измерении емкости изменяют положение переключателя рода работ $П_1$, а положение переключателя $П_2$ выбирают в зависимости от требуемого предела измерения. При нажатии кнопки $Кн_1$ напряжение —10 *в* через одно из эталонных сопротивлений R_{25}—R_{28} и контакты переключателей $П_{2а}$ и $П_{2б}$ подается на конденсатор, емкость которого необходимо измерить. Прибор работает далее так же, как и при измерении сопротивлений.

С помощью кнопки $Кн_3$ прибор можно калибровать, устанавливая переключатели $П_1$ и $П_2$ в соответствующее положение. Например, в положении переключателя $П_2$, показанном на схеме, при нажатии кнопки $Кн_3$ на счетчик должно поступить 1 000 импульсов. Если индикатор показывает другое число, необходимо изменить положение движка потенциометра R_3 и повторить калибровку. После каждого измерения показания счетчика сбрасывают на нуль, нажимая на кнопку $Кн_2$.

В приборе применены резисторы типа МЛТ-0,5—0,25; конденсаторы КСО, ЭМ, КМ-4б, БМ, ЭТО, К53-А, К50-6. Величину эталонных конденсаторов и резисторов необходимо подобрать с точностью не ниже 0,5%. Переключатель $П_2$ керамический 6П2Н (П2Г); можно применить любой другой, обеспечивающий необходимую коммутацию.

Данные трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ приведены в табл. 20.

Налаживание и проверку прибора производят с помощью осциллографа и лампового вольтметра. Амплитуда импульсов, поступаю-

Таблица 20

Обозначение	Материал сердечника	Параметры обмоток		
		№ обмотки	Число витков	Марка и диаметр провода
Tp_1	Сталь Э42, Ш16·32	I	755	ПЭЛ-0,31
		II	1 055	ПЭЛ-0,25
		III	450	ПЭЛ-0,35
		IV	450	ПЭЛ-0,35
		V	70	ПЭЛ-0,51
		VI	60	ПЭЛ-0,51
Tp_2	Оксифер: $\mu = 2\,000$, $d_н = 12$ *мм*, $d_{вн} = 5$ *мм* $h = 5$ *мм*	I	60	ПЭЛ-0,2
		II	80	ПЭЛ-0,2

щих на счетчик, должна находиться в пределах 4—7 *в*. Проверку схемы сравнения производят в следующем порядке. Устанавливают движок потенциометра R_{31} в положение, при котором с него снимается напряжение —5 *в*. Подключают к коллектору транзистора T_8 осциллограф и замыкают контакты кнопки $Кн_1$, при этом блокинг-генератор начинает работать в автоколебательном режиме. На экране осциллографа должны наблюдаться прямоугольные импульсы с частотой следования примерно 100 *кгц*. Если этого не происходит, необходимо поменять местами концы одной из обмоток трансформатора Tp_2.

В качестве счетчика можно использовать четыре последовательно соединенные декады, собранные по схеме (рис. 42), а в качестве дешифратора с индикаторными лампами можно применить схему, показанную на рис. 58. При этом резисторы смещения, подключенные к базам левых транзисторов, отключаются от шины +5,6 *в* и подключаются к шине *Сброс* (рис. 64).

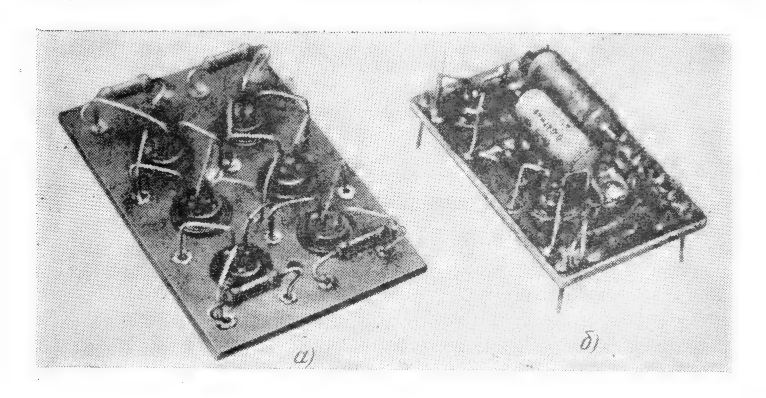
Чтобы проверить работу счетчика импульсов, отключают от коллектора транзистора T_8 конденсатор C_9 и нажимают кнопку $Кн_1$. Цифровые лампы при этом должны все время светиться. При размыкании кнопки $Кн_2$ *Сброс* на всех индикаторных лампах должны загореться нули.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

18. Общие принципы конструирования цифровых устройств

Исходя из того, что любое устройство цифровой техники содержит в себе определенный ряд однотипных схем (триггеры, инверторы, эмиттерные повторители, усилители, ключи и т. п.), целесообразно такие схемы собирать в виде наборов обособленных блоков, узлов,



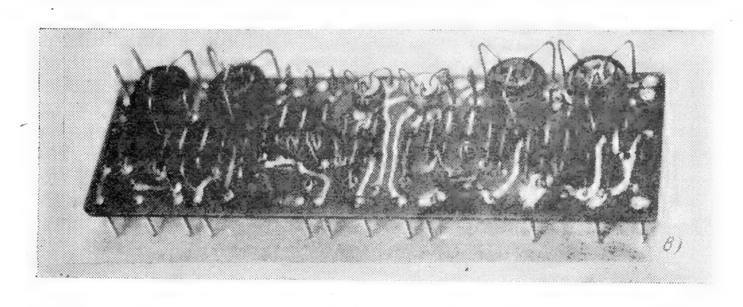


Рис. 65. Печатные платы функциональных узлов.

а — усилитель постоянного тока; *б* — мультивибратор; *в* — высокочастотный триггер.

модулей (рис. 65). Это в значительной мере облегчает процесс их изготовления и увеличивает надежность устройства в целом.

Вопрос о наиболее рациональной компоновке модулей должен решаться в процессе конструирования аппаратуры, но возможность такого конструирования должна быть предусмотрена еще при разра-

ботке принципиальной схемы, т. е. на этом этапе необходимо выделить относительно простые функциональные узлы схемы, которые могут быть сформированы в виде отдельных конструктивно обособленных модулей.

При этом необходимо помнить, что оформлять в виде модулей можно только такие узлы схемы, которые можно монтировать, регулировать и испытывать отдельно (вне аппаратуры). Характеристики модулей одного типа должны быть одинаковыми, взаимозаменяемыми, в модуле желательно объединять все элементы, определяющие основные характеристики данного схемного узла. Схема и конструкция модулей должны быть такими, чтобы при установке их в аппаратуру не требовались какие-либо дополнительные регулировки как модулей, так и аппаратуры, в которую они входят.

В тех случаях, когда без дополнительных регулировок обойтись нельзя, целесообразно регулировочные элементы выделять в особые узлы.

Для тренировки и испытания модулей желательно иметь специальную аппаратуру и стенды.

При выборе элементов для конструирования модулей следует обращать особое внимание на их надежность. По этим соображениям следует избегать применения в модулях электролитических конденсаторов и реле. По возможности следует выбирать режим работы элементов при электрической нагрузке, не превышающей 50% номинальной.

Температура окружающей среды также не должна превышать максимально допустимую для выбранных элементов и приборов. Предварительно, при проработке конструктивных компоновок, следует проанализировать, имеются ли в составе элементов, устанавливаемых в данном функциональном блоке, такие, которые обладают значительным тепловыделением, или элементы, особо чувствительные к температурным условиям и поэтому нуждающиеся в стабилизации температурных режимов.

Следует выяснить, обеспечено ли правильное взаимное положение теплоизлучающих и теплочувствительных элементов при компоновке приборов и блоков, не следует ли изменить компоновку элементов внутри данного устройства.

В герметичных, уплотненных, пыленепроницаемых приборах, где перемешивание воздуха внутри прибора весьма ограничено, теплопередача от нагретых деталей к стенкам кожуха осуществляется в основном лучеиспусканием и теплопроводностью по металлу шасси. Поэтому для обеспечения хорошего теплоотвода от деталей к кожуху, а следовательно, и для уменьшения перепада температуры от нагретой зоны к кожуху весьма важно обеспечить хороший тепловой контакт шасси с кожухом и высокую степень черноты внутренних поверхностей кожуха и поверхности тепловыделяющих деталей.

Введение даже примитивной естественной вентиляции, обеспечиваемой перфорацией верхней и нижней стенок кожуха, позволяет существенно снизить температуру в блоке.

Для повышения надежности полупроводниковых приборов, используемых при повышенных мощностях, необходимо производить интенсивный отбор тепла от корпуса прибора. В большинстве случаев для этого используются радиаторы самых разнообразных конструкций. Для лучшего теплоотвода рабочую поверхность радиатора в месте закрепления транзистора желательно отшлифовать таким образом, чтобы обеспечить наилучший тепловой контакт по всей

плоскости соприкосновения полупроводникового прибора с поверхностью радиатора.

При конструировании устройств цифровой техники нужно стремиться к тому, чтобы компоновка отдельных плат и блоков позволяла производить визуальный осмотр элементов и обеспечивала удобный доступ ко всем деталям и узлам. Наиболее рациональной с этой точки зрения является блочная конструкция, где отдельные блоки устройства соединяются между собой с помощью разъемов и смонтированы в общем кожухе таким образом, чтобы при необходимости можно было изъять из устройства любой из блоков, не нарушая других.

Печатные платы рекомендуется устанавливать в блоках вертикально, что обеспечивает наиболее удобную компоновку и облегчает температурный режим элементов.

Крупные детали на платах рекомендуется крепить с помощью специальных крепежных скобок, винтов, клея или другими способами, но таким образом, чтобы их электрические выводы не несли никаких механических нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бутусов И. В.** Цифровые устройства для автоматического контроля, измерения и управления. Изд-во «Недра», 1964.
2. **Гитис Э. И.** Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. Госэнергоиздат, 1961.
3. **Нетребенко К. А.** Цифровые автоматические компенсаторы. Госэнергоиздат, 1961.
4. **Вавилов Е. Н., Портной Г. П.** Синтез схем электронных цифровых машин. Изд-во «Советское радио», 1963.
5. **Штагер В. В.** Полупроводниковые приборы в импульсных и коммутационных схемах. Госэнергоиздат, 1963.
6. **Кораблев Л. Н.** Новые применения ламп с холодным катодом в импульсной аппаратуре. Изд-во АН СССР, 1960.
7. **Кораблев Л. Н.** Лампы с холодным катодом. Изд-во АН СССР, 1961.
8. **Черевычник Ю. К.** Применение логических ламп с холодным катодом в дискретной технике. ВЦ АН СССР, 1962.
9. **Генис А. А., Горштейн И. Л., Пугач А. Б.** Тиратроны с холодным катодом и их применение. Гостехиздат, УССР, 1961.
10. **Актон Д. Р., Свифт Д. Д.** Газоразрядные приборы с холодным катодом. Изд-во «Энергия», 1965.
11. **Мановец А. П., Раввин Г. И.** Основы телеуправления и телеконтроля. Госэнергиздат, 1959.
12. **Миленин Г. А., Базь Г. А., Булибенко В. Ю.** и др. Основы импульсной техники. Изд-во МО СССР, 1966.
13. **Хесин А. Я.** Импульсная техника. Изд-во «Энергия», 1965.
14. **Ицхоки Я. С.** Импульсные устройства. Изд-во «Советское радио», 1959.
15. **Дроздов Е. А., Прохоров В. И., Пятибратов Л. П.** Основы вычислительной техники. Воениздат, 1964.
16. **Гольдберг Л. М.** Основы импульсной техники. Связьиздат, 1963.
17. **Карцев М. А.** Арифметические устройства электронных цифровых машин. Физматгиз, 1958.
18. **Николаевский И. Ф.** Справочник по полупроводниковым триодам и диодам. Связьиздат, 1961.
19. **Тягунов Г. А.** Электровакуумные и полупроводниковые приборы. Госэнергоиздат, 1962.
20. **Кононов Б. М.** Симметричные триггеры на плоскостных полупроводниковых триодах. Госэнергоиздат, 1960.
21. **Жеребцов И. П.** Основы электроники. Изд-во «Энергия», 1967.

22. **Шварц С.** Полупроводниковые схемы (справочник). Изд-во иностр. лит., 1962.

23. **Лурье С. Н.** Усилители видеочастоты. Изд-во «Советское радио», 1961.

24. **Кризе С. Н.** Усилительные устройства. Связьиздат, 1958.

25. **Конев Ю. Н.** Полупроводниковые триоды в автоматике. Изд-во «Советское радио», 1961.

26. **Яблонский Ф. М., Янкин Г. М.** Декатроны. Изд-во «Энергия», 1967

27. **Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н.** Датчики систем автоматического контроля и регулирования, Машгиз, 1959.

28. **Гальперин Е. М., Сулицкий Ю. Н.** Полупроводниковые логические переключающие схемы. Изд-во «Советское радио», 1960.

29. **Клейн М. Л., Морган Г. С., Аронсон М. Г.** Цифровая техника для вычислений и управления. Изд-во иностр. лит., 1960.

30. **Соловейчик И. Е., Анищенко П. М.** Знаковая индикация и ее применение в современных радиоэлектронных системах. Изд-во «Советское радио», 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава первая. **Основные понятия и определения цифровой техники** 4

1. Характеристики импульсного процесса 4
2. Понятия алгебры логики 9
3. Системы счисления, перевод чисел из одной системы счисления в другую 14

Глава вторая. **Типовые элементы и схемы цифровой техники** 20

4. Элементы и приборы 20
5. Схемы функциональных узлов 36
6. Логические схемы 50

Глава третья. **Счетные схемы** 55

7. Параметры счетных схем 55
8. Счетчики на электронных лампах 55
9. Счетчики на лампах с холодным катодом 61
10. Счетчики на транзисторах 63
11. Счетчики на декатронах 66

Глава четвертая. **Устройства индикации** 76

12. Общие сведения 76
13. Конструкции цифровых индикаторов 77

Глава пятая. **Некоторые практические схемы приборов и устройств цифровой техники** 82

14. Формирователь импульсов 82
15. Преобразователь «напряжение — частота» 84
16. Декатронный делитель частоты 85
17. Цифровой измеритель емкости и сопротивления . . . 85

Глава шестая. **Вопросы конструирования** 92

18. Общие принципы конструирования цифровых устройств . 92

Литература 95

Цена 25 коп.